



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

Sci
1080.40
X.8

HARVARD COLLEGE LIBRARY



BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY

PETER PAUL FRANCIS DEGRAND

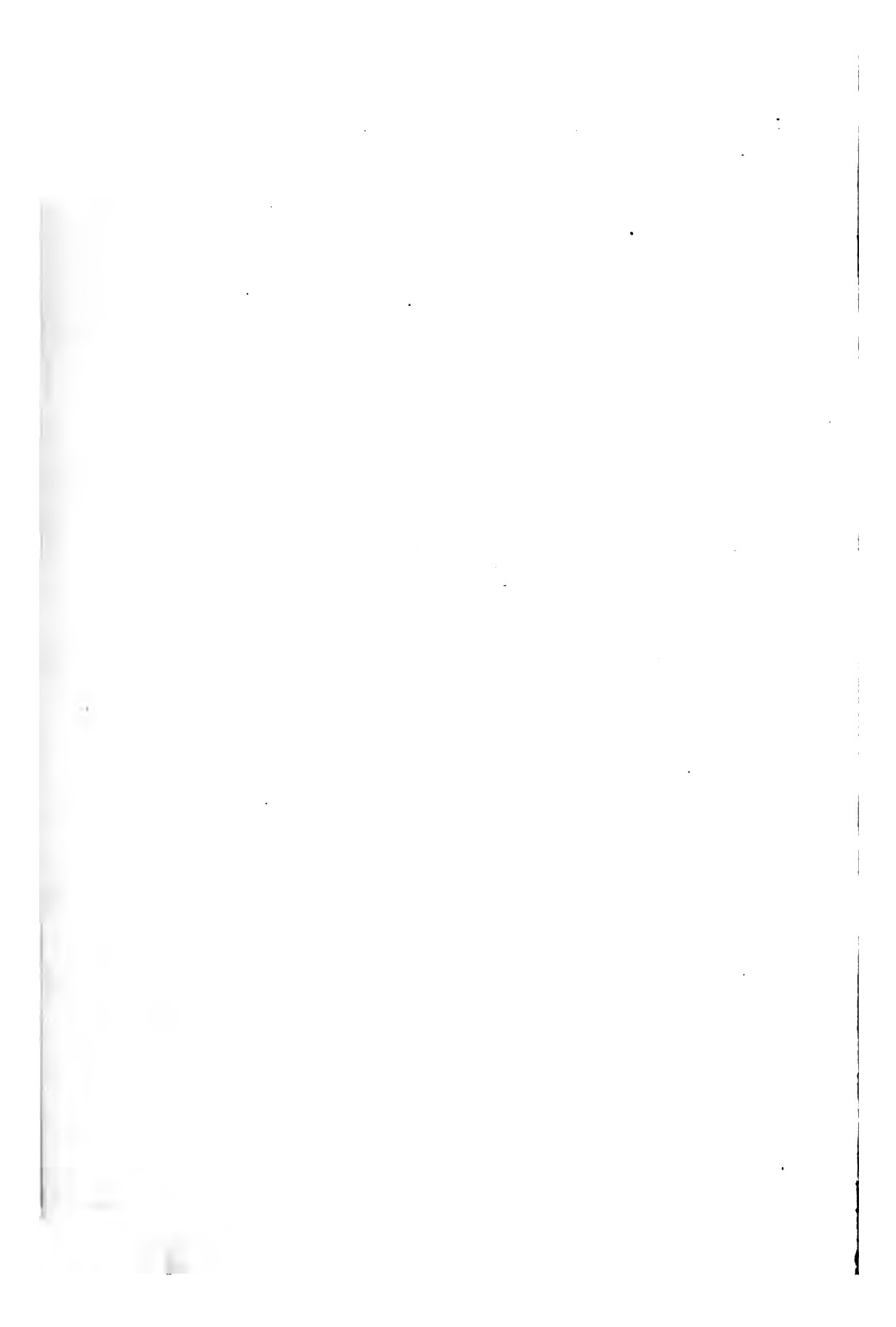
(1787-1855)

OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION







SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DE PHYSIQUE

ANNÉE 1908.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES

BULLETIN DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE,

PAR DÉCRET DU 13 JANVIER 1881.

ANNÉE 1908.

PARIS,

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,

44, RUE DE RENNES, 44.

—
1908

Sci 1080.40.8



Legend found

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE:

HYSTÉRESE DANS LES CHAMPS TOURNANTS⁽¹⁾;

Par MM. PIERRE WEISS et V. PLANER.

Les phénomènes d'hystérèse que l'on observe quand l'aimantation varie en conservant constamment une même direction ont été l'objet de déterminations beaucoup plus nombreuses que ceux dont une matière placée dans un champ tournant est le siège. Et cependant certains aspects dès à présent connus de ce dernier phénomène sont, par leur caractère de simplicité, beaucoup plus encourageants.

Tandis que l'énergie dépensée dans un cycle d'hystérèse alternative⁽²⁾ croît constamment avec l'induction jusqu'à une valeur maximum correspondant au cycle limite, Baily⁽³⁾ trouva en 1894 que l'énergie dépensée quand une induction constante décrit un tour complet croît d'abord avec l'induction, à peu près comme l'hystérèse alternative, et est supérieure de plus de 30 0/0 à celle-ci jusqu'à $B = 10000$; mais, pour $B = 16000$ à 17000 , elle passe par un maximum et décroît ensuite rapidement, de telle façon que, pour $B = 20500$, elle n'est plus que de $1/13$ environ de sa valeur maxima; et sa disparition totale à la saturation n'est guère douteuse.

Pour l'acier, Baily trouva un maximum de l'énergie d'hystérèse tournante⁽²⁾ pour $B = 14000$ à 15000 ; mais ici la réduction de cette quantité dans le voisinage de la saturation ne put être poussée que jusqu'à $1/5$ environ de sa valeur maxima.

Les expériences de Baily ont été reprises et confirmées par Beattie et Clinker⁽⁴⁾ sur le fer, puis par Beattie⁽⁵⁾ sur le nickel et le cobalt. Beattie et Clinker emploient un champ relativement faible,

(1) Séance du 17 janvier 1908.

(2) Hystérèse alternative, tournante — expressions abrégées, incorrectes, mais commodes.

(3) F.-G. BAILY, *Phil. Trans.*, t. CLXXXVII^A, p. 715; 1896; — *Electrician*, t. XXXIII, p. 516; 1894.

(4) BEATTIE et CLINKER, *Electrician*, t. XXXVII, p. 723; 1896.

(5) BEATTIE, *Phil. Mag.*, 6^e série, t. I, p. 642; 1901.

tout juste suffisant, semble-t-il, d'après la représentation graphique de leurs résultats, pour atteindre la réduction à zéro de l'hystérèse. Encore ne l'atteignent-ils qu'à 5 0/0 près de sa valeur maximum, attribuant ce résidu à l'énergie dépensée en courants de Foucault, assez importante dans leur expérience et dont la correction, de leur propre aveu, est assez incertaine. Ils ajoutent, sans autre document, que l'expérience, répétée par une méthode d'observation de position d'équilibre excluant les courants de Foucault, a donné des résultats très voisins de la courbe corrigée. Leur courbe se raccorde tangentiellement à l'axe des inductions au point de disparition de l'hystérèse tournante. Mais Beattie, dans le deuxième travail cité, en reproduisant cette courbe, l'arrête, comme d'ailleurs les nouvelles courbes qu'il obtient pour le nickel et le cobalt, à une distance de cet axe correspondant au quart environ du maximum, et détermine l'intensité d'aimantation à laquelle disparaît l'énergie d'hystérèse en prolongeant rectilignement ces branches descendantes. La loi suivant laquelle se fait l'approche à l'axe des inductions n'est donc pas encore connue.

Grau et Hiecke ⁽¹⁾ ne se sont pas contentés de comparer, comme Baily, les hystérèses alternative et tournante observées par des méthodes différentes sur des échantillons différents du même fer ; ils ont fait porter, par une méthode ingénieuse, mais indirecte et compliquée, les mesures des deux espèces d'hystérèse sur la même matière. Ils ont trouvé, dans l'intervalle restreint de $B = 0$ à $B = 3\,000$ où ils ont opéré, que l'hystérèse alternative est la moitié de l'hystérèse tournante. Ce résultat a été contesté, et, plus loin, nous aussi arriverons pour ces faibles inductions à une loi différente. Mais nous trouvons à leur méthode et à leur appareil, plutôt que des erreurs de principe, une certaine infériorité pour les déterminations numériques précises provenant de l'incertitude du degré d'uniformité de l'aimantation.

Tel n'est pas l'avis de Dina ⁽²⁾ et de Herrmann ⁽³⁾, dont les résultats diffèrent de ceux de Grau et Hiecke. Dans les expériences de Dina, l'objet étudié était une bobine de fil de fer isolé qu'il fait tourner dans un champ magnétique. Pour cette disposition de la matière,

(1) GRAU et HIECKE, *Sitzungsber. d. k. Akad. zu Wien*, t. CV, p. 933 ; 1896.

(2) DINA, *Electrot. Zeitschr.*, t. XXIII, p. 41, 207 ; 1902.

(3) HERRMANN, *Electrot. Zeitschr.*, t. XXVI, p. 747 ; 1905 ; — polémique avec Hiecke, même vol., p. 917 et 1087.

l'aimantation doit varier, au moins dans les champs faibles, suivant une ellipse très allongée, par suite des phénomènes démagnétisants qui se produisent plus fortement dans la direction perpendiculaire que dans la direction parallèle au fil. Dina trouve l'énergie d'hystérèse tournante un peu *inférieure* (3,8 à 14,70/0) à l'énergie d'hystérèse alternative. Mais ce qui montre bien qu'il n'a pas réellement observé l'hystérèse tournante, c'est que, bien qu'il ait atteint une induction de 18 100, il trouve que l'énergie d'hystérèse croît toujours, alors que Baily a trouvé un maximum pour $B = 16.000$ à 17.000 .

Quant à Herrmann, le dispositif qu'il emploie, un anneau portant un enroulement composé de deux parties, parcouru par un courant biphasé, ne peut donner lieu à aucun phénomène assimilable, même de loin, à un champ et à une aimantation tournants. Il pense, à la suite de ses expériences, que l'énergie d'hystérèse tournante est sensiblement égale à l'énergie d'hystérèse alternative.

Mentionnons encore Schenkel⁽¹⁾, qui retrouve les résultats de Baily avec une méthode analogue à la sienne. Il constate la réduction à zéro de l'hystérèse tournante à 80/0 près, après avoir fait une correction très importante pour éliminer les courants de Foucault (égale au quart environ du maximum de l'énergie d'hystérèse).

En résumé, après les expériences fondamentales de Baily, quelques expérimentateurs ont confirmé ses résultats, d'autres y ont ajouté l'obscurité provenant de leurs polémiques. La question de la loi suivant laquelle l'hystérèse tournante s'approche de zéro et celle du rapport des deux énergies d'hystérèse alternative et tournante dans les champs faibles restent donc ouvertes. Nous avons, en outre, compris dans le programme de ce travail l'étude expérimentale de l'hystérèse alternative et tournante de la pyrrhotine, pour contrôler les formules trouvées précédemment par la mesure des courbes d'aimantation de cette substance.

Méthode expérimentale. — On peut mesurer l'énergie dépensée dans un phénomène d'hystérèse soit indirectement au moyen des cycles d'aimantation, soit directement par une mesure mécanique. Dans le premier cas, elle peut être ou déduite de la mesure de l'aire des cycles ou d'une lecture équivalente au wattmètre. Grau et Hiecke ont eu recours aux cycles d'aimantation relatifs aux deux projections de l'intensité d'aimantation pour en déduire

(1) SCHENKEL, *Electrot. Zeitschr.*, t. XXIII, p. 429; 1902.

l'énergie d'hystérèse tournante. Herrmann s'est servi du wattmètre, Dina l'a remplacé par une mesure calorimétrique.

La méthode mécanique a été employée par Baily, par Beattie et Clinker, par Beattie, par Schenkel. C'est d'elle que dérivent les hystérésimètres industriels bien connus de Marcel Desprez, d'Ewing, de Blondel-Carpentier. Elle consiste à mesurer le couple C exercé par l'appareil producteur du champ dans son mouvement relatif de rotation par rapport à la substance. En appelant α les angles de rotation du champ, on a pour l'énergie dépensée dans un cycle :

$$E = \int_0^{2\pi} C d\alpha;$$

Beattie a relevé C pour tous les angles de 5° en 5° et en a déduit E .

Lorsque C est constant, il suffit de faire tourner le champ avec une vitesse quelconque et de mesurer C au moyen d'un fil de torsion de constante connue, portant la substance. Lorsque C n'est pas constant, la substance n'étant pas de révolution autour de l'axe de rotation du champ, en général le système suspendu prendra un mouvement vibratoire dont la période sera celle de la rotation du champ, ou dans un rapport simple avec elle; mais l'amplitude de ces vibrations sera d'autant plus petite que les deux systèmes seront plus éloignés du synchronisme. Si l'on peut faire en sorte que ces vibrations soient assez faibles pour que l'on puisse observer une position d'équilibre, le théorème des moments des quantités de mouvement apprend que le couple mesuré par le ressort de torsion sera précisément le couple moyen relatif à toute la circonférence. Multiplié par 2π , il donnera l'énergie d'hystérèse par cycle (1).

La substance, qui, dans nos expériences, avait toujours la forme d'un disque de faible épaisseur, pouvait être placée debout, le plan du disque parallèle à l'axe de rotation du champ. Mais alors, par suite de la valeur considérable, voisine de 4π , du coefficient démagnéisant relatif à la direction perpendiculaire au plan du disque, l'aimantation reste presque exactement dans le plan du disque et est, par conséquent, alternative. Ce n'est que dans les champs très intenses que l'aimantation prendrait des valeurs notables perpendiculairement au plan du disque. Dans le fer, on observerait de nouveau

(1) Voir, pour cette méthode, quand l'intensité d'aimantation n'est pas constante, *Bulletin des Séances*, année 1905, p. 380.

l'hystérèse tournante dans un champ de plus de 20 000 gauss. Nous avons donc pu mesurer l'hystérèse tournante et l'hystérèse alternative sur le même échantillon avec le même appareil et par la même méthode.

Description des appareils. — Nous avons employé dans ces expériences deux appareils. Dans l'un d'entre eux (*fig. 1*), destiné aux champs moyens et intenses, l'appareil producteur du champ est un

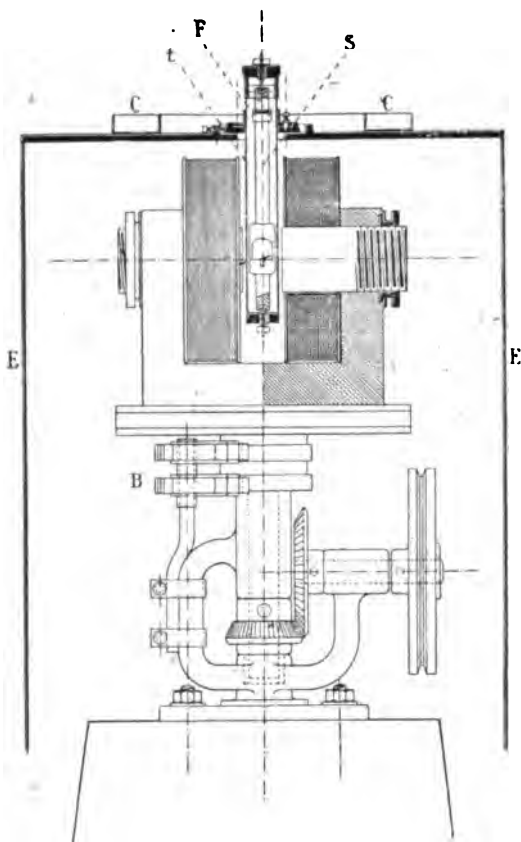


FIG. 1.

électro-aimant permettant d'atteindre 10 000 gauss. Le diamètre des noyaux est de 6 centimètres. Les autres dimensions du circuit magnétique peuvent être relevées sur la *fig. 1*, dessinée à l'échelle de 1 : 7. Les deux bobines portent 2 598 tours de fils de cuivre

émaillé qui supporte une forte élévation de température. La rotation est obtenue au moyen d'un moteur électrique, par l'intermédiaire d'un train d'engrenages. Le courant est amené à l'aimant par les balais B qui frottent sur des bagues de cuivre. L'intensité du champ a été déterminée en fonction du courant magnétisant au moyen de la balance électromagnétique absolue de M^e Cotton ⁽¹⁾.

On ne peut suspendre simplement l'équipage mobile S, portant la substance, à un fil de torsion, car, dans les champs intenses, la pesanteur ne suffit pas pour rendre stable la position d'équilibre dans l'axe de l'aimant, qui est instable en ce qui concerne les forces magnétiques. L'équipage se colle alors contre l'une ou l'autre des surfaces polaires. Pour obvier à cet inconvénient, nous avons d'abord employé deux fils de torsion tendus, fixés à chaque extrémité du support. Mais, même ainsi, les vibrations latérales ne peuvent être réduites et rendues inoffensives que par un centrage très délicat. Comme il s'agit de mesurer des couples assez considérables, nous avons préféré finalement monter le système mobile entre pointes; les pivots en acier sont fixes, et les pierres fines encastrées dans l'équipage mobile. Les expériences sont alors beaucoup plus commodes et les frottements des pivots sont négligeables.

L'équipage S doit être non magnétique, et, pour éviter les courants de Foucault, non conducteur. Après plusieurs essais moins heureux (verre, os), nous nous sommes arrêtés aux supports en bois dur. Le couple antagoniste est fourni par un ressort spiral, placé suffisamment loin du champ pour qu'il n'y ait pas d'inconvénient à le prendre en acier. Les déviations sont lues au moyen d'un miroir placé en regard de la fenêtre F.

Pour éviter l'influence des trépidations, l'appareil était composé de deux parties indépendantes; l'aimant et le mécanisme pour le faire tourner reposaient sur un socle de pierre, et la partie supérieure de l'appareil portant l'équipage mobile était soutenue par des consoles scellées dans un mur épais. L'appareil comprend, en dehors des parties déjà indiquées, un tube de laiton *t*, entourant l'équipage mobile, et l'enveloppe E, qui servent de protection contre les courants d'air. Aux faibles vitesses de rotation de l'aimant qui ont été employées, l'effet écran magnétique exercé par ce tube ne pouvait modifier le champ d'une manière appréciable; pour plus de sûreté,

(1) *Bulletin des Séances*, 1907, p. 140.

il a été largement échancré à la hauteur de la substance, et les deux fenêtres qui en résultaient ont été fermées au moyen d'une mince feuille d'aluminium. Ce tube peut être retiré de la douille qui le porte et sur laquelle agissent les vis de réglage et y être réintroduit sans que le centrage soit altéré. On peut ainsi changer le ressort ou changer la substance par les fenêtres sans avoir à recommencer les réglages.

On n'a pas représenté dans la figure un amortisseur formé de deux ailettes en aluminium oscillant dans une cuve annulaire CC' contenant de la glycérine. Cet amortisseur n'est pas nécessaire en principe, l'appareil ayant par lui-même des frottements suffisants pour faire disparaître les mouvements pendulaires. Pour les champs faibles, on s'en est dispensé ; pour les champs intenses, il a été trouvé commode.

Le moteur pouvait être inversé en commutant l'excitation ; on lisait successivement la déviation à gauche et à droite, rendant ainsi l'observation indépendante du zéro de l'appareil.

L'une des plus grandes difficultés de ce genre d'expériences, rencontrée par la plupart des opérateurs, consiste dans les oscillations de l'équipage mobile synchrones avec le mouvement de rotation du champ et causées par l'anisotropie de l'objet étudié autour de l'axe de rotation, que cette anisotropie provienne de la structure interne (cristalline, fibreuse par laminage, etc.) ou de la forme de l'objet. Dans nos mesures d'hystérèse alternative, pour lesquelles le disque était placé debout, cette difficulté se présentait avec une acuité toute particulière. On combat efficacement ces oscillations soit en augmentant la vitesse de rotation du champ, soit en ralentissant les oscillations propres de l'appareil. C'est cette dernière ressource que nous avons surtout utilisée, car l'augmentation de la vitesse de rotation du champ a l'inconvénient d'augmenter les courants de Foucault que nous tenions à rendre presque négligeables pour éviter toute incertitude provenant de leur correction. Pour augmenter la durée d'oscillation de l'appareil, nous nous sommes servis dans quelques expériences de grenaille de plomb que l'on mettait dans deux petites boîtes solidaires du levier de l'amortisseur ; dans d'autres expériences, nous avons employé des cavaliers de plomb que l'on posait sur ces leviers.

Le deuxième appareil, spécialement destiné aux champs faibles, est représenté dans la *fig. 2* (à l'échelle 2 : 7). Il se distingue de celui que nous venons de décrire en ce que l'électro-aimant est remplacé

par deux bobines sans fer disposées comme dans la boussole de Helmholtz pour donner un champ uniforme. Chacune des deux bobines porte 239 tours de fil de $0^{\text{mm}},6$. Le courant amené par des balais de charbon frottant sur des bagues de cuivre donne un champ de 32,45 gauss par ampère. Le montage de l'équipage mobile est le même que dans le premier appareil.

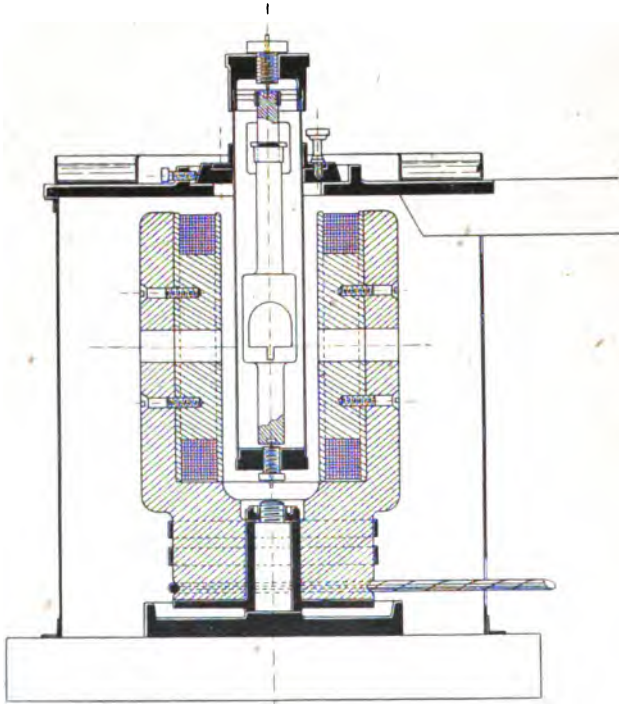


FIG. 2.

Pour ramener l'énergie dépensée par cycle à des valeurs absolues, il était nécessaire de connaître la constante des ressorts employés. Cette détermination a été faite en mesurant la durée d'oscillation du système tel quel et avec une surcharge de moment d'inertie connu. Cette surcharge a été, dans certains cas, un anneau de laiton de section rectangulaire; dans d'autres, deux petites masses de plomb disposées symétriquement sur l'amortisseur.

Le choix de la variable indépendante en fonction de laquelle on

exprime les énergies d'hystérèse a son importance. On peut hésiter, par exemple, entre la grandeur du champ tournant, l'intensité d'aimantation ou l'induction, puisque, lorsqu'on prend soin de désaimanter pour effacer la trace de l'histoire magnétique antérieure, l'une de ces quantités détermine sans ambiguïté les deux autres. De même, pour repérer un cycle d'hystérèse alternative, il suffira de donner H, B ou I pour le sommet du cycle.

Dans nos expériences, le champ était la quantité immédiatement fournie par l'observation; nous l'avons conservée pour la pyrrhotine, et, pour les autres matières, dans les champs faibles seulement. La discussion des résultats justifiera cette préférence.

Mais on peut objecter à l'emploi de cette variable qu'elle ne met pas en évidence le fait de la saturation; en outre, sa signification physique n'est pas simple, le champ à l'intérieur de la matière différant du champ extérieur, par suite des phénomènes démagnétisants provenant des dimensions limitées de l'objet et, ce qui est plus grave parce que plus inaccessible, par les innombrables phénomènes magnétisants et démagnétisants provenant des discontinuités de la structure cristalline. L'intensité d'aimantation, par contre, à, au moins en tant que valeur moyenne, une signification sans ambiguïté.

Nous avons ramené à cette variable les observations dans les champs intenses en déterminant, par une série de mesures indépendantes, la relation entre I et H. La méthode balistique sous sa forme habituelle, qui consiste à entourer la substance d'un circuit inducteur et d'un circuit induit et à procéder par fermeture et rupture du courant, est impraticable ici. Le flux parasite passant dans la bobine induite à côté de l'échantillon serait beaucoup trop considérable à cause de la minceur de celui-ci. Nous avons donc préféré la méthode qui consiste à placer, dans une forte bobine donnant un champ atteignant un millier de gauss, une bobine induite fixe et à introduire ou à extraire de cette dernière la substance à mesurer. Si la bobine induite a des dimensions telles qu'un courant qui la parcourrait donne un champ sensiblement uniforme dans tout l'espace occupé par la matière, il est clair que l'on mesure ainsi le moment magnétique du corps introduit (¹).

L'appareil est étalonné en valeur absolue en remplaçant l'introduction du corps par celle d'un moment magnétique connu, réalisé au

(¹) Voir, au sujet de méthodes analogues, *Bulletin des Séances*, 1905, p. 341.

moyen d'une bobine d'aire exactement mesurée, parcourue par un courant connu.

Pour que le phénomène observé fût uniforme dans toute l'étendue de la matière, il faudrait, en toute rigueur, se servir d'ellipsoïdes, pour lesquels le champ démagnétisant est constant. Pour éviter cette complication, nous avons employé les disques relativement grands et minces dans lesquels, au moins dans le voisinage de la saturation, le champ démagnétisant n'a qu'une importance subordonnée par rapport au champ extérieur. Dans ces conditions, sa non-uniformité est sans influence appréciable. Dans les champs faibles dans lesquels toutes les quantités suivent des lois régulièrement croissantes, une certaine non-uniformité des phénomènes ne doit pas altérer notablement le caractère général des courbes. Enfin, cette non-uniformité est la même, qu'il s'agisse de l'hystérèse alternative ou tournante, de sorte que leur comparaison se fait sur des distributions identiques.

RÉSULTATS.

Pyrrhotine. — Nous commençons la description des résultats par la pyrrhotine, pour laquelle ils se présentent à plusieurs points de vue avec un caractère tout particulier de simplicité. Dans un travail antérieur ⁽¹⁾, l'un d'entre nous a déduit de l'étude des courbes d'aimantation de la pyrrhotine dans le plan magnétique les relations suivantes :

$$\begin{aligned} (1) \quad E_a &= 4IH_c, \\ (2) \quad E_r &= 4IH_c \sqrt{1 - \left(\frac{H}{H_b}\right)^2}, \end{aligned}$$

où E_a représente l'énergie d'hystérèse d'un cycle pour la direction de facile aimantation ;

E_r , l'énergie d'hystérèse dépensée par la rotation d'un champ H dans le plan magnétique ;

I , l'intensité d'aimantation à saturation à la température de l'expérience ;

H_c , le champ coercitif ;

H_b , le champ démagnétisant principal, correspondant à la direction de difficile aimantation dans le plan magnétique.

Pour les valeurs de H supérieures à H_b , E_r reste nul.

⁽¹⁾ *Bulletin des Séances*, 1903, p. 375.

Il suffit de placer un disque de pyrrhotine, taillé parallèlement au plan magnétique, verticalement et horizontalement dans les appareils à champ tournant (*fig.* 1 et 2) pour obtenir les quantités E_a et E_t ⁽¹⁾. La première s'obtient même avec une rigueur plus grande que pour les autres substances, à cause de la grande approximation de la propriété du plan magnétique.

Le travail cité contient déjà une vérification provisoire de ces formules ; malheureusement ces deux quantités n'avaient pu être mesurées sur le même disque par suite d'un accident, et elles n'avaient pas été déterminées en valeur absolue. Dans le tableau I, nous donnons le résultat de nouvelles mesures.

TABLEAU I (pyrrhotine).

H gauss	$E_t \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$	$E_a \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$
347	4 930	
689	5 740	
1 081	5 540	5 690
1 236	5 480	6 210
2 133	4 660	6 730
2 870	3 930	—
3 560	3 110	7 240
4 265	2 320	—
4 980	1 660	7 240
5 640	1 140	
6 220	640	
6 780	36	
7 220	11	
7 640	0	
8 300	0	
8 500	0	

Les points correspondant à ces expériences ont été marqués dans la *fig.* 3, les courbes en traits pleins ont été tracées d'après les formules (1) et (2) en adoptant les valeurs :

$$4H_c = 7100 \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3},$$

$$H_D = 7300 \text{ gauss},$$

qui s'accordent le mieux avec l'ensemble des expériences sur l'hystérèse tournante. Cette valeur de $4H_{cI_M}$ concorde encore avec celle que donne l'expérience pour l'hystérèse alternative, eu égard à la

(1) Voir *loc. cit.*, p. 380.

plus grande difficulté des expériences lorsque le plan magnétique est vertical ⁽¹⁾. Ce n'est que dans les champs faibles, où les champs démagnétisants provenant des dimensions finies de la substance jouent un certain rôle, que les valeurs observées sont inférieures aux valeurs théoriques.

Ces expériences ont le grand avantage de donner accessoirement une détermination du champ démagnétisant principal H_0 provenant de la structure cristalline, sans que l'on soit obligé de faire l'analyse du groupement de trois cristaux qui se retrouve dans tous les échantillons de pyrrhotine. Nous avons, pour cinq fragments ou disques provenant de divers échantillons, trouvé que l'hystérèse tournante suit la même loi et est exactement réduite à zéro pour la même valeur de $H_0 = 7\,300$ gauss.

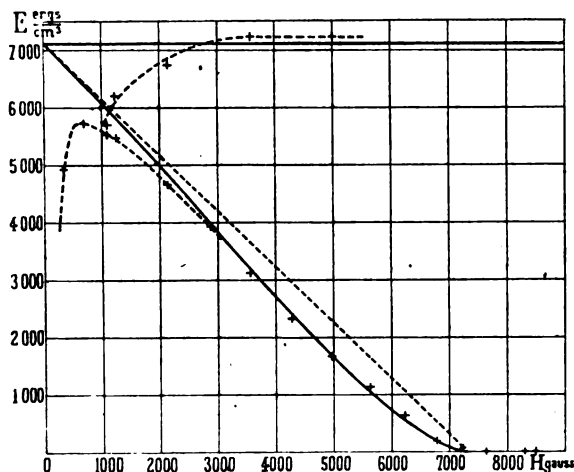


FIG. 3.

H_0 est donc une constante caractéristique de la pyrrhotine.

Par contre, dans un plus grand nombre d'échantillons, l'hystérèse décroît sans s'annuler complètement. Nous donnons dans le tableau II :

⁽¹⁾ La valeur *absolue* des énergies d'hystérèse n'a pas été déterminée avec une grande précision. En mesurant indépendamment $H_c = 24$ gauss et $l = 70$ C. G. S., la formule (1) (p. 14) donne $E_a = 6\,700$, ce qui concorde grossièrement.

TABLEAU II (pyrrhotine).

H gauss	$E_t \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$ *	$E_a \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$
76	2 940	2 170
114	4 100	2 960
155	5 400	3 320
189	5 610	—
304	6 770	4 240
768	8 110	6 670
1 152	7 860	7 500
1 546	7 000	8 200
3 080	4 620	8 940
4 600	2 730	9 310
6 050	850	—
6 680	450	9 160
7 190	370	—
7 420	250	—
7 630	250	—
8 100	250	—
8 660	250	—

les résultats d'expériences sur un échantillon pour lequel, à 7 300 gauss, l'énergie d'hystérèse tournante se réduit à une faible valeur, égale à 2,7 0/0 du maximum, et reste ensuite à peu près constante dans les champs plus élevés. Pour d'autres échantillons, les irrégularités sont plus considérables. Elles s'expliquent soit par des macles irrégulières dont on ne s'aperçoit pas avant l'expérience, soit plus probablement par les changements d'état étudiés dans un travail précédent sous la rubrique *Pyrrhotines anormales* ⁽¹⁾.

Champs faibles. — L'étude de l'hystérèse tournante permet de contrôler une autre conséquence des propriétés de la pyrrhotine telles qu'elles ont été déduites de l'étude des courbes d'aimantation. Si ces déductions sont exactes, il ne doit se produire aucun phénomène d'hystérèse dans un champ tournant inférieur au champ coercitif H_c . Dès que ce champ coercitif est dépassé, l'énergie d'hystérèse devrait, pour une matière dont le plan magnétique est horizontal, atteindre de suite la valeur maxima $4IH_c$, si la matière était indéfinie. Comme elle ne l'est pas, les phénomènes démagnétisants doivent intervenir ici, comme ils le font pour limiter l'accroissement de l'intensité d'aimantation, et l'énergie d'hystérèse doit croître à peu près proportionnellement à l'excès du champ sur le

(1) P. WEISS et J. KUNZ, *Bulletin des Séances*, 1905, p. 415.

champ coercitif. La variation de l'énergie d'hystérèse en fonction du champ (*fig. 4*) doit donc être représentée par les droites OAB.

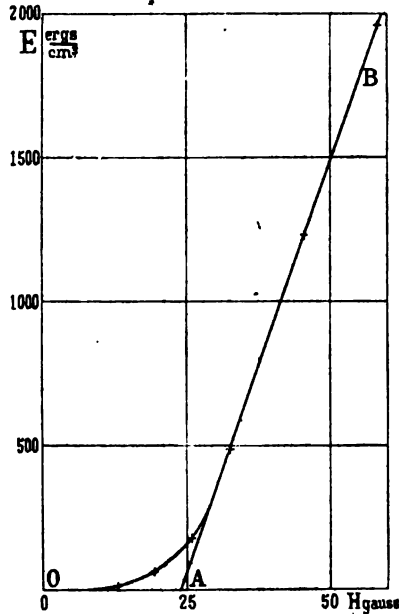


FIG. 4.

Le tableau III et la courbe passant par les points marqués dans la *fig. 4*, qui représentent les observations, montrent que l'expérience confirme les prévisions, à un léger raccord curviligne près.

TABLEAU III.

Hgauss	$E, \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$
13,0	13
19,4	63
25,9	178
32,5	485
45,4	1 230
58,4	1 960
71,3	2 730

La courbe permet de se rendre compte que, pour un champ voisin du champ coercitif, l'énergie d'hystérèse n'est que de 2 0/0 de sa valeur maxima.

Dans la comparaison de l'expérience avec la théorie de l'hystérèse du fer, fondée sur le champ moléculaire et les propriétés magnéto-

cristallines connexes⁽¹⁾, on rencontre une divergence analogue.

L'aire des petits cycles d'hystérèse dans lesquels l'amplitude de la variation du champ est inférieure au champ coercitif devrait être nulle d'après la théorie; l'expérience montre qu'elle est différente du zéro. Cet écart trouve une explication plausible dans l'existence de portions de matière, dans le voisinage de la surface extérieure et des surfaces de discontinuité intérieures, pour lesquelles les sphères d'activité moléculaires sont incomplètes et, par suite, les champs coercitifs plus faibles que la valeur normale. Le raccord curviligne (*fig. 4*) entre l'axe des abscisses et la droite AB nous semble devoir s'expliquer de même par les portions de matière de sphère d'activité incomplète.

L'intersection de AB et de l'axe des abscisses donne, dans ces conditions, au lieu du champ coercitif, une quantité légèrement supérieure; on s'en rend compte facilement. Ce champ coercitif approché par excès est, pour cette substance, égal à 24 gauss.

Nickel. — A cause de la petitesse de l'intensité d'aimantation du nickel, comparée à celle du fer, les expériences sur cette matière sont moins sujettes à être altérées par la non-uniformité des champs démagnétisants d'un point à l'autre du disque, et les phénomènes résiduels relativement intenses de cette matière, dont le champ coercitif était $H_c = 17,3$ gauss, rendent les mesures faciles. Le diamètre du disque était de 2 centimètres; son volume, $0^{\text{cm}^3}, 1344$.

Les expériences sur l'hystérèse alternative et la mesure de l'intensité d'aimantation ont été faites dans la direction du laminage et dans la direction perpendiculaire; dans l'une et dans l'autre mesure, les différences sont restées au-dessous de 10/0.

Les résultats sont contenus dans les tableaux IV, V, VI et représentés dans les *fig. 5* et 6. On voit, dans la *fig. 5*, qui représente les observations du tableau IV, que l'énergie d'hystérèse tournante, après une période de croissance rapide, atteint un maximum égal à 17400 ergs par centimètre cube pour une intensité d'aimantation égale à 310 C. G. S. Ensuite elle décroît, la courbe coupant l'axe des abscisses sous un angle fini. Le maximum de l'hystérèse tournante est donné par une déviation mesurée sur l'échelle par 120 millimètres; la déviation restante à l'intensité d'aimantation 488 est de $0^{\text{mm}}, 2$, quantité qui est dans les limites de l'incertitude des lectures.

(1) *Bulletin des Séances*, 1907, p. 104.

Ces observations dans les champs intenses sont corrigées des courants de Foucault. A cet effet, chaque observation a été faite avec des nombres de tours mesurés, voisins de 90 et 160 par minute, et la correction a été faite par la proportionnalité du couple des courants de Foucault avec la vitesse. Cette correction se fait avec régularité. Pour l'hystérèse alternative, elle n'a pas dépassé 3 0/0 de la valeur maxima; pour l'hystérèse tournante, à la disparition, elle avait le quart de cette valeur.

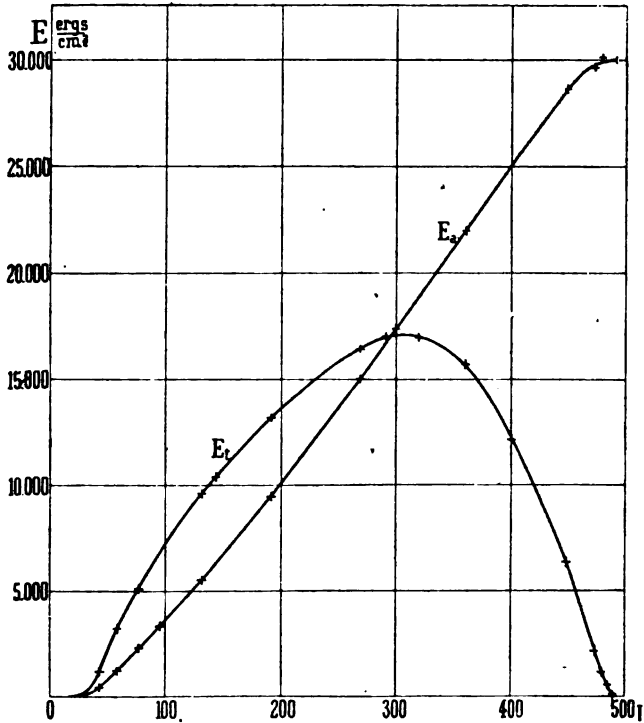


FIG. 5. — Nickel. — Énergie d'hystérèse alternative et tournante en fonction de l'intensité d'aimantation.

L'hystérèse alternative est d'abord inférieure à l'hystérèse tournante, mais les deux courbes se coupent au maximum de cette dernière, et l'hystérèse alternative atteint une valeur presque double de ce maximum, comme l'avait déjà trouvé Bailly pour le fer. Nous avons déjà fait remarquer que, pour le nickel dans les champs intenses (2000 gauss), l'hystérèse observée quand le disque est debout n'est

plus purement alternative, mais présente une forte ellipticité, et devrait par conséquent décroître après le passage par un maximum. Quelques observations semblaient indiquer cette décroissance, mais déjà au maximum la stabilité de l'appareil était tout juste suffisante; nous n'avons pu poursuivre avec certitude des expériences sur l'hystérèse alternative dans les champs plus intenses que ceux qui font disparaître l'hystérèse tournante.

TABLEAU IV. — *Nickel, champs intenses.*

Hgauss	I _{c.g.s.}	E _t $\frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$	E _a $\frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$
72	144	9 810	6 260
97	192	12 930	9 630
145	269	16 380	14 930
244	360	15 780	21 950
486	448	6 410	28 670
732	474	2 080	29 540
976	478	1 020	30 080
1 464	486	630	—
1 950	488	46	31 590
2 923	—	30	—

Deux séries d'expériences (tableaux IV et V) ont été faites dans des champs plus faibles, au moyen de l'appareil *fig. 2*, avec des ressorts de sensibilités différentes.

TABLEAU V. — *Nickel, champs moyens.*

Hgauss	I _{c.g.s.}	E _t $\frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$	E _a $\frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$	$\frac{E_t}{E_a}$
24,3	41,6	1 090	390	2,79
32,5	59,0	3 190	1 150	2,77
40,6	77,5	5 070	2 280	2,22
48,7	95,4	6 810	3 260	2,09
64,9	131,2	9 540	5 490	1,74
97,3	191,0	13 020	9 460	1,38

TABLEAU VI. — *Nickel, champs faibles.*

Hgauss	I _{c.g.s.}	E _t $\frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$	E _a $\frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$	$\frac{E_t}{E_a}$
9,7	8,0	11,2	3,1	3,62
16,2	28,2	164	47,8	3,43
19,5	30,8	362	105,0	3,44
24,3	41,6	1 020	330	3,09
26,0	45,2	1 290	427	3,02

La représentation graphique de ces tableaux aurait une physionomie tout à fait semblable, et pour des raisons analogues, à celle des

résultats obtenus avec la pyrrhotine dans les champs faibles. La dernière colonne montre que le rapport $E_t : E_a$ n'a pas la valeur constante égale à 2 que lui attribuaient Grau et Hiecke. Ce rapport part

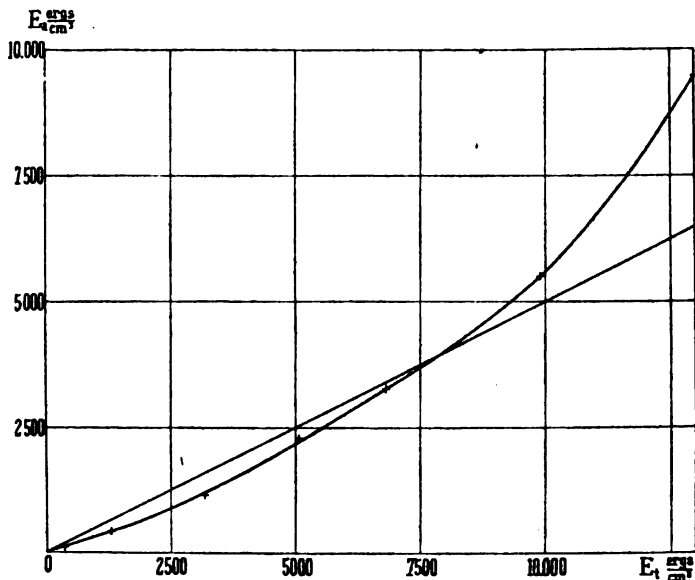


FIG. 6. — Nickel. — Énergie d'hystérèse alternative en fonction de l'énergie d'hystérèse tournante (dans les champs faibles).

d'une valeur voisine de 4 pour s'abaisser progressivement. La *fig. 6*, dans laquelle nous avons porté en abscisses E_t et en ordonnées E_a , met encore mieux en évidence la variation systématique de ce rapport, et la droite $E_t = 2E_a$, tracée dans la même figure, montre comment on a pu, avec des expériences moins exactes et faites dans un intervalle restreint, être conduit à la conclusion de ces auteurs.

Fer doux. — Le disque de fer doux, de 2 centimètres de diamètre, a été découpé dans une tôle mince. Son volume est de 0^{cm}³,0454. Le champ coercitif est 2,3 gauss.

Les résultats sont très analogues à ceux du nickel. Ils sont contenus dans les tableaux VII et VIII, représentés par les courbes *fig. 7*. L'hystérèse tournante passe par un maximum, égal à 16 400 ergs par centimètre cube et par cycle, pour $I = 1\,220$ environ, et se réduit à zéro suivant une branche de courbe s'approchant plus progressivement de l'axe des abscisses que pour le nickel. A $I = 1\,700$, la dévia-

tion restante est de $0^{\text{mm}},2$, le maximum de l'énergie d'hystérèse tournante étant donné par 40 millimètres.

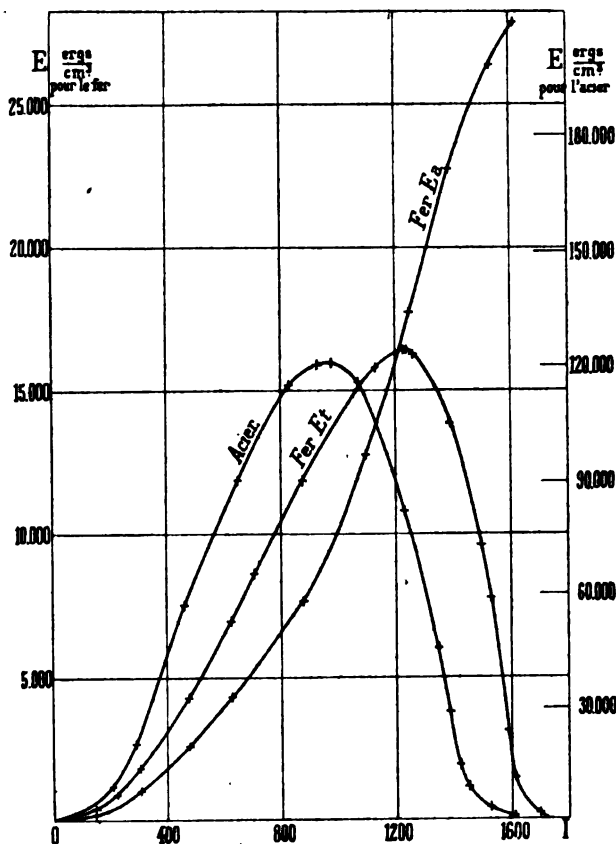


FIG. 7. — Fer doux et acier.

La correction des courants de Foucault a été faite en observant successivement à 110 et à 190 tours par minute; le maximum de cette correction a été, pour l'hystérèse tournante, de 4 0/0 environ de sa valeur maximum.

Les propriétés de ce fer laminé étaient assez différentes suivant deux directions rectangulaires. Les différences entre l'énergie d'hystérèse alternative dans la direction du laminage et dans les directions perpendiculaires ont atteint 15 0/0; on a pris la moyenne.

De même l'intensité d'aimantation a été mesurée dans deux azi-

muts rectangulaires. La différence atteignait à peine 1 0/0 dans les champs moyens et disparaissait dans les champs intenses.

TABLEAU VII. — *Fer doux, champs faibles.*

Hgauss	Ic.o.s.	$E_t \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$	$E_a \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$	$\frac{E_t}{E_a}$
16,2	144	400	210	1,9
24,3	226	870	440	2,0
32,4	309	1 830	1 060	1,73
48,7	472	4 210	2 590	1,63
64,9	622	6 860	4 260	1,61
81,1	774	9 000	6 300	1,43

TABLEAU VIII. — *Fer doux, champs intenses.*

Hgauss	Ic.o.s.	$E_t \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$	$E_a \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$
72,1	700	8 620	4 860
97,0	874	11 800	7 590
145,4	1 128	15 680	17 680
292,3	1 392	13 280	22 580
486,0	1 531	7 680	26 260
732,0	1 591	3 010	—
976,0	1 612	1 450	27 750
1 950	1 700	240	32 090
2 923	—	84	—
3 900	—	76	—

L'énergie d'hystérèse alternative est d'abord inférieure à celle de l'hystérèse tournante, puis les deux courbes se coupent sensiblement au maximum de l'énergie d'hystérèse tournante, et l'énergie d'hystérèse alternative s'approche, dans les champs intenses, du double du maximum de l'énergie d'hystérèse tournante.

Les mesures dans les champs très faibles étant un peu moins précises pour le fer, à cause de la petitesse des quantités à mesurer, nous ne les reproduisons pas ici. Elles ont montré que le fer se comporte sensiblement comme le nickel.

Fer électrolytique. — Pour établir par un deuxième exemple la loi de l'hystérèse dans les champs faibles, nous avons eu recours au fer électrolytique :

Diamètre du disque.....	19 ^{mm} ,9
Épaisseur.....	0 ^{mm} ,0252
Volume.....	0 ^{cm} 3,00784
Champ coercitif.....	9 ^{gauss} ,26

Le fer était déposé sur un disque de cuivre. Les valeurs *absolues*

contenues dans les tableaux suivants sont incertaines, par suite de l'incertitude sur l'épaisseur de la couche.

TABLEAU IX. — *Fer électrolytique, champs faibles.*

Hgauss	Ic.c.s.	$E_t \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$	$E_m \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$	$\frac{E_t}{E_m}$
9,72	130	2 270	675	3,38
12,96	214	5 100	1 482	3,43
16,22	280	8 900	2 700	3,31
22,72	420	14 900	6 520	2,27

TABLEAU X. — *Fer électrolytique, champs moyens.*

Hgauss	Ic.c.s.	$E_t \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$	$E_m \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$	$\frac{E_t}{E_m}$
16,2	282	8 700	2 740	3,22
22,7	412	15 000	6 410	2,34
32,5	580	22 000	9 800	2,24
40,6	657	26 900	15 600	1,72
64,9	780	36 100	23 100	1,56
97,4	899	43 400	35 000	1,24
129,8	975	44 500	42 200	1,05
162,2	1 018	40 500	51 800	0,78

Ces résultats sont de tous points conformes à ceux que nous avons trouvés pour le nickel et en contradiction, par conséquent, avec la loi simple de Grau et Hiecke.

Acier. — Les résultats obtenus sur un disque d'acier au tungstène, taillé dans un aimant en fer à cheval employé dans les sonneries magnéto-électriques des installations téléphoniques, sont contenus dans les tableaux XI et XII.

TABLEAU XI. — *Acier, champs moyens, appareil fig. 2.*

Hgauss	Ic.c.s.	$E_t \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$	$E_m \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$
16,2	40	80	40
24,3	63	270	100
32,5	85	610	210
40,6	108	1 350	470
48,7	132	2 760	890
64,9	182	6 830	2 140
97,3	288	20 440	6 890
129,8	398	44 090	15 290
162,2	462	—	27 080

Dans les champs intenses nécessaires pour obtenir la saturation de l'acier, l'obtention d'une position d'équilibre pour le disque placé

verticalement était très délicate, et la mesure de l'hystérèse alternative n'a pu être poussée jusqu'à la saturation.

Le tableau XII ne contient donc que l'énergie d'hystérèse tournante.

TABLEAU XII. — *Acier, champs intenses, appareil fig. 1.*

H gauss	I _{c. s. s.}	E _t $\frac{\text{ergs}}{\text{cm}^3}$
72	201	8 640
97	286	20 390
145	460	55 330
195	649	89 670
244	830	114 670
390	1 140	105 860
486	1 230	81 820
732	1 350	45 710
976	1 385	28 900
1 464	1 420	14 490
1 950	1 452	8 510
2 920	1 530	3 310
3 900	1 610	1 130
4 830	—	280

L'hystérèse tournante a été mesurée avec les nombres de tours de 110 et 170 par minute pour la correction des courants de Foucault ; cette correction est à peine supérieure à 1 0/0 du maximum de l'hystérèse tournante.

Comme pour le fer, l'hystérèse alternative et l'intensité d'aimantation ont été trouvées légèrement différentes pour deux azimuts rectangulaires ; on a pris la moyenne.

La courbe représentant la variation de l'énergie d'hystérèse tournante est représentée dans la figure des courbes du fer (*fig. 7*). Ici aussi l'énergie d'hystérèse tournante tend vers zéro ; mais, plus encore que pour le fer, la courbe s'approche progressivement de l'axe des abscisses. La raison en est sans doute dans la non-homogénéité de l'acier, dont les différents éléments constitutants arrivent successivement à l'intensité d'aimantation correspondant à la perte de l'hystérèse. Cette réduction à zéro est d'ailleurs aussi complète que pour les autres matières. Le résidu observé correspond à 0^{mm},9, dont on ne peut répondre, le maximum étant donné par 376 millimètres.

SUR LE RENDEMENT LUMINEUX ET L'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA LUMIÈRE;

Par M. CH.-V. DRYSDALE (1).

On ne semble guère s'être préoccupé en Angleterre de la détermination du rendement des sources de lumière diverses et de la puissance dépensée pour la production de la lumière; d'autre part, les travaux des savants allemands et américains ne sont pas encore assez complets pour fournir avec certitude les valeurs numériques du rendement lumineux et de l'équivalent mécanique de la lumière.

Dans ce qui suit, je donnerai un résumé de quelques déterminations faites par M. A.-C. Jolley et moi-même dans le but de mesurer ces quantités.

Pour cela, nous avons d'abord mesuré le rendement lumineux et la consommation totale de quelques lampes à incandescence les plus nouvelles, au moyen d'une détermination directe dans le spectre par un bolomètre.

I. *Rendement lumineux*. — Soit : Q, la puissance totale dépensée dans une source ;

R, la radiation totale $= \int_0^{\infty} I_{\lambda} d\lambda$, la perte Q — R étant due à la conductibilité et à la convection ;

L, la radiation lumineuse $= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{\lambda} d\lambda$, où λ_1 et λ_2 sont les limites du spectre visible, soit 0,39 μ et 0,76 μ ;

L_{λ} , la radiation lumineuse équivalente $= \int_0^{\infty} K_{\lambda} I_{\lambda} d\lambda$, où K_{λ} est un facteur qui est proportionnel à la luminosité et pris comme unité pour $\lambda = 0,54 \mu$ qui est le maximum de sensibilité de la rétine.

Dans son sens habituel, le rendement lumineux est le rapport $\eta = \frac{L}{Q}$, c'est la quantité que Nichols nomme *total efficiency*.

Dans les méthodes où aucune précaution n'est prise pour tenir compte des pertes par conductibilité ou convection, on détermine le rapport $\eta_R = \frac{L}{R}$, qui est la *radiant efficiency* de Nichols.

(1) Séance du 6 mars 1908.

Récemment le D^r Guillaume⁽¹⁾ a proposé une nouvelle définition $\eta_\lambda = \frac{L_\lambda}{Q}$ qui pourrait être appelé le « rendement lumineux réduit », car il est exprimé en fonction d'une lumière étalon monochromatique.

Il est évident qu'avec la définition ordinaire, une source aurait un rendement unité si $L = Q$, c'est-à-dire si toute l'énergie était dans le spectre visible, et cependant ce serait encore une source peu efficace au point de vue de l'éclairage, si ses radiations étaient confinées aux deux extrémités du spectre visible.

La définition du D^r Guillaume conduirait seulement au rendement unité dans le cas d'une source monochromatique de longueur d'onde $0,54 \mu$.

II. *Mesure de l'équivalent mécanique de la lumière.* — La méthode la plus directe est évidemment de faire tomber simultanément un faisceau lumineux de la qualité requise sur un photomètre et sur un appareil quelconque mesurant la chaleur, et de comparer l'indication du bolomètre à celle fournie par une source étalonée placée à une distance connue.

Comme à peu près tous les procédés pour mesurer de faibles quantités de chaleur comportent des erreurs, il est de la plus grande importance que la comparaison entre la radiation du faisceau en essai et la radiation connue soit effectuée aussi rapidement et facilement que possible avec le minimum de causes d'erreur.

Pour cela, nous employons une source intense, mais de petites dimensions, telle qu'un arc ou le filament de la lampe Nernst, et en obtenons un spectre approximativement pur au moyen d'un prisme à sulfure de carbone sur un photomètre et sur la boîte du radiomètre. Par l'emploi d'une fente étroite, on peut obtenir une lumière monochromatique de longueur d'onde désirée, ou, en ouvrant la fente, une bande qui peut atteindre la longueur totale du spectre; l'intégration de toutes les radiations lumineuses est ainsi obtenue automatiquement sans aucun autre dispositif de concentration.

La source étalonée est une lampe à incandescence qui constitue la lampe de comparaison; elle est placée près du prisme ou au-dessus, de sorte que les deux faisceaux sont ainsi sensiblement parallèles au banc qui supporte tout le système.

Une lampe étalon est placée de l'autre côté du photomètre.

(1) Société Internationale des Electriciens, *Bull.*, V, p. 363-400.

Un écran fixe disposé devant le bolomètre n'y laissait parvenir que la seule radiation provenant du prisme ou de la lampe de comparaison ; l'ouverture qu'il portait pouvait être obturée par un écran mobile arrêtant l'une ou l'autre des radiations de ces deux sources ; il était commandé à distance par une corde.

Le faisceau ainsi produit tombait à la fois sur le prisme et sur la boîte renfermant le bolomètre ; on réglait la lampe de comparaison de manière à ce que la manœuvre de l'écran mobile, qui remplaçait le flux à mesurer par la radiation de cette lampe, ne produise aucune variation dans la déviation du bolomètre. Ceci évitait les causes d'erreur principales, la mesure étant plus rapide qu'en attendant une lente déviation.

Les raisons qui ont conduit à employer comme lampe de comparaison une lampe électrique sont les suivantes :

1° La puissance totale est facilement mesurée par la différence de potentiel, et le courant peut être rapidement régularisé ;

2° La perte par convection et conductibilité, qu'il est difficile d'évaluer avec précision, est très petite, étant donné la haute température du filament.

Ces avantages rendent la lampe à incandescence très supérieure comme source de comparaison aux lampes à basse température employées par Thomsen et les autres observateurs.

Il faut cependant dire que la radiation n'est pas uniformément distribuée ; mais cette difficulté peut être surmontée une fois pour toutes en déterminant la relation entre l'intensité dans une direction donnée et l'intensité moyenne sphérique, ce qui peut être convenablement fait photométriquement.

Le photomètre employé a été imaginé par l'auteur pour les mesures ordinaires et surtout hétérochromes. Il consiste simplement en deux prismes à réflexion totale montés sur une lame de verre avec leurs angles en contact.

Les radiations des deux lampes entre lesquelles le double prisme est placé peuvent ainsi être reçues sur un écran de verre dépoli ou de papier translucide, auquel cas l'apparence est identique à celle donnée par le photomètre à bloc de paraffine de Joly. On peut aussi disposer cet écran avec des « Tests » (lettres ou réticulations de différentes dimensions) à la fois sur champ éclairé ou obscur, les lettres et signes étant absolument symétriques.

L'avantage de cet écran spécial est qu'il sert indifféremment en

lumière blanche ou colorée; il est peu influencé par un léger défaut d'orientation des sources, et se prête bien au réglage en ligne droite des deux lampes et du photomètre; enfin il permet d'amener une partie du spectre bien déterminée en un point donné de la plage photométrique, ce qui permet de faire des comparaisons même avec un spectre peu étalé.

Pour la mesure de l'énergie, nous avons d'abord essayé une paire de soudures thermoélectriques construites d'après les indications du professeur Féry; mais, ayant trouvé ce dispositif trop peu sensible, nous avons eu recours à un bolomètre: un fil de cuivre de 50 centimètres de longueur ayant 7,5 ohms fut enroulé sur un support en mica. Deux supports ainsi préparés furent introduits dans la même boîte que les prismes du photomètre et immédiatement au-dessus, de manière à recevoir exactement les mêmes radiations que ce dernier.

Pour protéger les deux bras du bolomètre contre les courants d'air, les deux extrémités de la boîte et la fenêtre d'observation étaient fermées par des feuilles minces de mica.

Séparés par un écran d'amiante, les deux bras du bolomètre étaient reliés convenablement par des conducteurs flexibles à un pont de Carey-Foster.

L'emploi de deux résistances bolométriques rend les variations de température de la pièce de moindre importance; tout l'arrangement bolométrique et photométrique était réversible pour prévenir un manque de symétrie du système.

Les bobines du pont avaient 10 ohms de résistance chacune, et le courant était mesuré par un galvanomètre de 7,5 ohms donnant 22 millimètres par microvolt; il passait de 0,04 à 0,1 ampère dans chaque bras du pont; le bolomètre permettait d'apprécier $1/2$ watt à 2 mètres.

Pour faire les lectures, le photomètre était d'abord fixé au milieu du banc, et le spectre déplacé jusqu'à ce que la couleur requise apparaisse à l'angle des prismes. On approchait alors la lampe étalon pour obtenir l'équilibre photométrique: soit d la distance de cette lampe.

L'équilibre bolométrique était ensuite obtenu en réglant la dépense de la lampe de comparaison qui recevait W watts et était placée à une distance D .

En supposant alors que la chaleur de la lampe de comparaison est radiée également dans toutes les directions, nous avons:

Intensité de la radiation au bolomètre $\rho = \frac{rW}{4\pi D^2}$ par centimètre carré, où r est le rapport de la radiation à la puissance totale ;

Intensité d'illumination du faisceau $l = \frac{fK}{d^2}$, où K est la puissance en bougies de la lampe étalon, et f le rapport de l'illumination dans la direction du faisceau à la véritable illumination.

De là on tire l'équivalent mécanique de la lumière :

$$M = \frac{4\pi\rho}{l} = \frac{Wr}{Kf} \left(\frac{d}{D} \right)^2,$$

exprimé en watts par bougie.

Des déterminations soignées de l'intensité lumineuse de la lampe de comparaison faites en directions variées par M. Jolley et pour une différence de potentiel constante, il résulte, pour une direction horizontale moyenne, un facteur de réduction égal à 0,862 et qui concorde bien avec le nombre 0,863 donné par Paterson.

Pour la direction dans laquelle la radiation était mesurée, on trouva 0,78.

La quantité de chaleur perdue par convection fut obtenue expérimentalement en se servant d'un calorimètre spécial enregistrant les calories emportées par le courant d'air ascendant créé par la lampe ; cette perte représente seulement 2 à 3 0/0 de l'énergie totale, quantité négligeable, étant donnée la précision des autres mesures.

Le plus grand nombre des déterminations fut fait dans le jaune vert jugé à l'œil dans le voisinage de $0,54 \mu$ proposé par Guillaume. Une erreur sur la longueur d'onde choisie ne peut d'ailleurs présenter que peu d'importance, puisqu'on se trouve dans le voisinage du maximum de sensibilité de la courbe rétinienne.

Pour faire des déterminations en lumière blanche, on élargissait considérablement la fente et on l'ajustait de telle sorte que l'un des bords aurait donné de l'infra-rouge et l'autre de l'ultra-violet sur l'écran photométrique ; on obtenait ainsi de la lumière blanche exempte de radiations obscures au lieu d'être enlevée seulement à une des extrémités du spectre, comme dans l'expérience d'Angström ⁽¹⁾.

(1) Dans cette expérience, le verre des lentilles, etc., employées avait sans doute enlevé la majeure partie de l'ultra-violet ; c'est sans doute à la petitesse de l'énergie de ces radiations qu'est dû l'accord de ces résultats avec ceux que j'ai obtenus moi-même.

Un certain nombre d'observations préliminaires furent faites avec l'arc et la lampe Nernst comme sources de lumière et en inversant les faces du photomètre. Cependant on observa des perturbations considérables au galvanomètre, ce qui fut attribué au voisinage de l'observateur. La moyenne de 24 observations fut 0,08 watt par bougie.

Pour éviter les causes d'erreur signalées précédemment, on prit le parti de disposer tout l'appareil dans une pièce formant chambre noire et dans laquelle l'observateur n'entrait pas. Un trou percé dans le mur laissait arriver les rayons du spectre sur le bolomètre; une autre petite ouverture servait pour l'observation du photomètre. Les lectures devinrent alors beaucoup plus satisfaisantes.

Les résultats obtenus sont réunis dans la table I. Le résultat final de 0,12 watt par bougie pour la lumière blanche du filament Nernst concorde presque exactement avec la valeur trouvée par Angström pour la lampe Hefner. Thomson et Tumlriz emploient tous deux des méthodes d'absorption, et on doit attacher peu de valeur à leurs résultats.

On peut essayer de déduire d'autres valeurs des recherches antérieures sur les illuminants, mais ces nombres varient de 0,011 à 0,028 watt par bougie trouvés par Wedding, 0,02 à 0,39 donnés par Rüssner et 0,49 à 0,49 indiqués par Merritt.

La plus basse valeur, 0,08, trouvée dans les présents essais pour la lumière blanche, s'explique sans doute par la très haute température de la source.

En attendant des déterminations plus précises, on peut admettre qu'une source idéale de lumière blanche pourrait donner environ 10 bougies par watt et en lumière jaune vert presque 17 bougies.

TABLE I.

Observateur	Date	Méthode	Durée	Étalon	Equivalent mécan.	
					cal. par sec., par bougie	watts par bougie
J. Thomson	1863	A	bougie	bougie étalon	0,073	0,310
	"	"	lampe modérateur		0,066	0,275
	"	"	flamme du gaz		0,065	0,270
O. Tumlirz et Krug	1888	A	fil de Pt incand.	Hefner	0,0455	0,19
O. Tumlirz	1889	A	lampe Hefner	Hefner	0,0505	0,212
K. Angström	1903	C	lampe Hefner	Hefner	0,0288	0,121
Drysdale et Jolley	1907	C	Nernst	bougie décimale	0,0284	0,119
	"		arc		0,0192	0,0803
	"		{ lumière monochr. $\lambda = 0,54$		0,0143	0,0598

Méthode A : pile thermo et écrans absorbants;

— C : mesure directe de l'énergie dans le spectre.

On a pris dans cette table 1 hefner = 0,9 bougie.

SUR L'EXTENSION DU THÉORÈME DE CLAUSIUS (1) ;

Par M. E.-H. AMAGAT.

I. On sait que les physiciens sont loin d'être d'accord relativement à la validité des raisonnements conduisant à l'inégalité de Clausius dans le cas des cycles irréversibles; peut-être aussi peut-on, dans une certaine mesure, attribuer à des malentendus les résultats contradictoires de divers auteurs.

On lit par exemple, dans certains ouvrages sur la Thermodynamique, que l'intégrale de Clausius est négative pour tout cycle fermé dans lequel les conditions de réversibilité relatives à la température ou à la pression n'ont pas été observées.

Tout d'abord la condition relative à la température disparaît si l'on introduit dans l'intégrale non les températures des sources, mais celles des corps.

Si l'on introduit les températures des sources, les autres conditions de réversibilité étant du reste remplies, l'intégrale est négative, mais cela résulte immédiatement de ce qu'elle est nulle quand on conserve les températures des corps et, par suite, ne nous apprend rien de

(1) Séance du 20 mars 1908.

plus que l'égalité de Clausius, ainsi que l'a fait remarquer M. Lippmann.

La condition relative à la pression présente plus de difficultés, et l'explication, souvent donnée pour montrer que, si elle n'est pas remplie, l'intégrale est négative, ne supporte pas l'examen; on n'y tient aucun compte, en effet, des variations de force vive résultant forcément des différences de pression.

M. Duhem est conduit à un résultat tout différent : pour tout cycle fermé réversible ou non, mais ne comportant point de résistances passives (frottements, viscosités), l'intégrale reste nulle.

Il est vrai que, pour M. Duhem, la définition du cycle fermé comporte seulement le retour aux valeurs initiales du volume, de la température et de la pression, tandis que la définition généralement acceptée comporte en plus le retour à l'état initial de toutes les autres conditions du système. Or, conformément à cette dernière définition, ce n'est qu'accidentellement qu'un cycle ne réalisant pas la condition relative à la pression pourrait être fermé; dans ce cas, c'est donc la définition de M. Duhem qui s'impose.

On suit souvent, pour généraliser le théorème de Clausius, une méthode affranchie des difficultés relatives à la pression (qui n'entre pas dans le raisonnement); elle consiste à s'appuyer sur le théorème de Potier; d'après ce théorème, l'intégrale de Clausius est nulle ou négative, si les températures y sont celles des sources.

D'autres démonstrations que celle de Potier ont été données par Sarrau et par M. H. Poincaré; le fait paraît donc bien établi; mais là où la difficulté commence, c'est lorsqu'on cherche à substituer aux températures des sources celles des différents points du système.

M. H. Poincaré a déjà signalé du reste les réserves qu'il paraît prudent de faire à ce sujet; strictement, aucune des démonstrations proposées n'est satisfaisante; en particulier, on y substitue aux sources réelles des sources fictives assujetties à des conditions de température déterminées et en même temps à fournir à chaque transformation les mêmes quantités de chaleur que dans le cycle réel, ceci sans se préoccuper du temps, ce qui revient au fond à assujettir les sources fictives à des conditions que rien ne prouve être compatibles entre elles.

Dans un ordre d'idées très différent, M. Duhem a traité la question en lui donnant toute la généralité possible; mais la méthode

qu'il a suivie exige la discussion minutieuse et approfondie de quelques hypothèses imposées par le degré même de la généralité du point de vue auquel il s'est placé; il peut donc encore être intéressant de chercher si, en se restreignant par exemple au cas de la Thermodynamique proprement dite, on ne pourrait pas arriver au but par des moyens facilement abordables et n'exigeant d'autres hypothèses que les hypothèses courantes généralement acceptées par tous.

L'essai qui suit ne s'appliquera du reste qu'aux fluides, mais dans le cas général, c'est-à-dire que le système considéré pourra être formé de diverses parties liquides ou gazeuses, avec ou sans résistances passives, en mouvement, la température et la pression étant du reste continuellement variables d'un point à l'autre du système et avec le temps.

II. 1° Supposons d'abord que le système fluide ne comporte ni frottements ni viscosités.

Isolons par la pensée une masse assez petite pour qu'on y puisse considérer la pression et la température comme uniformes; cette petite masse sera en mouvement sous l'influence des différences de pression des parties contiguës.

Soient pour une variation de volume dv de la petite masse : $d\mathfrak{E}$ le travail des pressions extérieures et dW la variation de la force vive ; nous pourrions appliquer la formule bien connue d'Hydrodynamique :

$$(1) \quad \int p dv = d\mathfrak{E} + dW.$$

L'intégrale cubique du premier membre se réduit ici à $p_1 dv$, en désignant, pour éviter toute confusion, par p_1 la pression *intérieure* uniforme du petit élément ; on aura donc :

$$(2) \quad p_1 dv = d\mathfrak{E} + dW.$$

La petite masse reçoit pendant cette transformation, soit des sources extérieures de chaleur, soit des diverses parties du système, une quantité de chaleur dq donnée par la relation :

$$(3) \quad dq = dU + Ad\mathfrak{E} + AdW.$$

Soit, d'après (2),

$$(4) \quad dq = dU + Ap_1 dv.$$

Cherchons maintenant la valeur de l'intégrale $\int \frac{dq}{T}$ pour la petite masse et une évolution complète.

Imaginons pour cela que cette masse accomplisse le même cycle, plongée dans un fluide dont on ferait varier la pression de façon à la maintenir continuellement uniforme et égale à la sienne; la masse passera ainsi successivement par les mêmes pressions que dans le cycle réel, mais d'une façon réversible; en même temps elle recevra de certaines sources des quantités positives ou négatives de chaleur; ces sources, *n'étant assujetties à aucune autre condition*, pourront toujours être choisies de manière que la petite masse repasse successivement par les mêmes températures en même temps que les mêmes pressions, et par suite que par les mêmes volumes, que dans le cycle réel; ces conditions n'ont rien de contradictoire; il y a même une infinité de manières d'en concevoir la réalisation.

Pour chaque transformation élémentaire, la valeur de dU , qui ne dépend que des valeurs extrêmes de p , v et T , sera la même que dans le cycle réel; il en sera de même pour p, dv , par suite pour dq et enfin pour $\frac{dq}{T}$.

La petite masse aura donc accompli un cycle fermé et réversible quant à la condition de pression; comme la température T est celle de la petite masse et non celle des sources, on aura pour le cycle en question et par suite pour le cycle réel, puisque tous les éléments de transformation correspondants ont les mêmes valeurs dans les deux cycles,

$$(5) \quad \int \frac{dq}{T} = 0.$$

En répétant un raisonnement analogue pour chaque petite masse, on aura donc pour l'évolution complète de l'ensemble du système :

$$(6) \quad \int \int \frac{dq}{T} = 0.$$

Ainsi donc, pour tout cycle fermé réversible ou non, mais ne comportant ni frottements ni viscosités, l'intégrale de Clausius est nulle; c'est le résultat auquel arrive M. Duhem; on remarquera du reste que le cycle n'est fermé que conformément à la définition adoptée par lui.

2° Introduisons maintenant des résistances passives :

Supposons d'abord que la transformation dv comporte un travail de frottement ; la forme (3) de la relation calorimétrique subsistera sans modification ; le frottement, en effet, dégage une quantité de chaleur égale à celle qu'absorberait le travail correspondant et que, par suite, les sources n'ont pas à fournir : la valeur de dq ne sera donc pas modifiée de ce fait. Le petit élément de fluide pourra par exemple être choisi de façon à englober les éléments des surfaces frottantes, de telle sorte que la chaleur provenant du frottement se répande tout d'abord dans le susdit petit élément, mais cette condition restrictive n'est pas nécessaire ; s'il y a chaleur cédée à l'extérieur d'une façon quelconque, la chaleur empruntée aux sources qui fournissent est bien augmentée d'autant : mais, pour avoir la quantité de chaleur dq définitivement absorbée, il faudra retrancher ce qui a été transmis à l'intérieur, de sorte qu'en définitive la valeur dq n'est pas modifiée.

La relation (2) deviendra :

$$(7) \quad p_1 dv = d\bar{\epsilon} + dW + d\bar{\epsilon}_f.$$

En désignant par $d\bar{\epsilon}_f$ le travail de frottement, on aura donc :

$$(8) \quad dq = dU + Ap_1 dv - Ad\bar{\epsilon}_f.$$

Supposons maintenant que la transformation dv comporte un travail de viscosité ; on voit de suite que, pour la même raison que ci-dessus, la première forme de la relation calorimétrique n'est pas modifiée.

D'autre part, la théorie des phénomènes de viscosité montre que le travail intérieur de la petite masse visqueuse se compose de trois termes dont le premier (travail intérieur de la pression isotrope) est précisément $p_1 dv$, les deux autres sont de signes contraires au premier, leur ensemble constitue le travail de viscosité $d\bar{\epsilon}_v$; on aura par suite la relation suivante analogue à (7) :

$$(7') \quad p_1 dv - d\bar{\epsilon}_v = d\bar{\epsilon} + dW.$$

Les deux travaux $d\bar{\epsilon}_f$ et $d\bar{\epsilon}_v$ sont essentiellement positifs.

L'équation calorimétrique sera donc la suivante, analogue à (8) :

$$(8') \quad dq = dU + Ap_1 dv - d\bar{\epsilon}_v.$$

Enfin, pour une transformation dv comportant à la fois des frottements et des viscosités, nous aurons les deux relations :

$$(VII) \quad p_1 dv = d\bar{\epsilon} + dW + d\bar{\epsilon}_f + d\bar{\epsilon}_v.$$

$$(VIII) \quad dq = dU + Ap_1 dv - A (d\bar{\epsilon}_f + d\bar{\epsilon}_v).$$

Cherchons maintenant la valeur de l'intégrale $\int \frac{dq}{T}$ pour un cycle fermé. Pour cela posons :

$$(9) \quad dq' = dU + Ap_1 dv.$$

Nous aurons :

$$(10) \quad \int \frac{dq}{T} = \int \frac{dq'}{T} - A \int \frac{d\bar{\epsilon}_f + d\bar{\epsilon}_v}{T}.$$

Considérons maintenant la petite masse de fluide subissant la même transformation dv , mais sans résistances passives, l'équation calorimétrique correspondante sera précisément la relation (9) ; par suite, répétant ici les raisonnements faits à propos de (4), nous verrons que l'intégrale correspondante pour un cycle fermé est nulle ; on aura :

$$(11) \quad \int \frac{dq'}{T} = 0,$$

et, par suite,

$$(12) \quad \int \frac{dq}{T} = -A \int \frac{d\bar{\epsilon}_f + d\bar{\epsilon}_v}{T}.$$

Puis enfin, faisant la somme pour toutes les petites masses,

$$(13) \quad \iint \frac{dq}{T} = -A \iint \frac{d\bar{\epsilon}_f + d\bar{\epsilon}_v}{T}.$$

Cette relation, comme on le voit, au double signe d'intégration près, ne diffère que par la notation de celle à laquelle est conduit M. Duhem.

III. Pour une transformation ouverte, entre les états (0) et (1), on aura :

$$(14) \quad \iint \frac{dq}{T} = S_1 - S_0 - A \iint \frac{d\bar{\epsilon}_f + d\bar{\epsilon}_v}{T}$$

et, pour la transformation élémentaire d'une masse de température uniforme,

$$dq = TdS - A (d\bar{\epsilon}_f + d\bar{\epsilon}_v),$$

d'où :

$$(15) \quad Tds - A(d\mathfrak{E}_f + d\mathfrak{E}_v) = dU + Ad\mathfrak{E} + AdW.$$

Par suite, ajoutant de part et d'autre SdT ,

$$(16) \quad d(ST - U) = Ad\mathfrak{E} + AdW + A(d\mathfrak{E}_f + d\mathfrak{E}_v) + SdT.$$

On aura donc, en tenant compte de (VII) et désignant $(ST - U)$ par H ,

$$(17) \text{ et } (18) \quad dH = Ap_1 dv + SdT \quad \text{et} \quad Ap_1 = \frac{dH}{dv}.$$

En général, on arrive d'abord à la fonction H par la considération de phénomènes réversibles ; la pression est alors introduite dans le calcul par le travail extérieur $p dv$, c'est-à-dire comme pression extérieure ; si la fonction H ne dépend alors que de l'état (*pvt*) du corps, c'est uniquement par suite de l'égalité de la pression du corps et de la pression extérieure ; mais, dans les phénomènes irréversibles, on ne peut plus *a priori*, sans faire d'hypothèses, dire qu'il existe une fonction H ne dépendant que de l'état du corps et satisfaisant aux relations (17) et (18) ; on ne peut le faire qu'après avoir, comme ci-dessus, introduit dans la relation (16) la pression (p_1) du corps, en tenant compte de la relation (VII) ; on peut dire alors que les relations (17) et (18) sont vraies, que les transformations soient réversibles ou non avec ou sans résistances passives.

Maintenant, la relation (VII) peut s'écrire :

$$(19) \quad \frac{dH}{dv} dv - Ad\mathfrak{E} = A(dW + d\mathfrak{E}_f + d\mathfrak{E}_v).$$

Si l'on y remplaçait $d\mathfrak{E}$ par $p dv$, p étant la pression extérieure, on aurait :

$$(20) \quad \left(\frac{dH}{dv} - Ap \right) dv = A(dW + d\mathfrak{E}_f + d\mathfrak{E}_v),$$

relation qui rappelle de suite celle qu'on rencontre à la base de la théorie de M. Duhem dans le cas d'un système défini par une seule variable normale et la température.

RAYONS ANODIQUES ⁽¹⁾;

Par M. OTTO REICHENHEIM.

Si l'on considère la charge gazeuse d'un tube ordinaire de Geissler, la cathode semble avoir une influence beaucoup plus grande que l'anode sur la décharge. La chute cathodique, c'est-à-dire le saut du potentiel, qui a lieu dans les confins cathode-gaz, l'espace à raréfaction progressive du gaz autour de la cathode, et surtout les rayons émis à un vide élevé par la cathode (rayons cathodiques), sont les phénomènes qui attirent d'abord l'attention et qui ont aussi fait que la cathode a été en première ligne l'objet des recherches de nombreux savants. C'est aussi de la cathode qu'émanent même les rayons-canaux, découverts par Goldstein en 1889, rayons qui ont une charge électrique positive et que l'on avait d'abord supposé souvent émaner de l'anode. Il semble par suite vraiment que l'anode ne participe pas d'une manière sensible à tout le phénomène de décharge. Et pourtant il existe un certain parallèle entre l'anode et la cathode. L'anode, elle aussi, possède dans certains cas un espace obscur, seulement il y a une différence quantitative entre cet espace obscur anodique et le cathodique. A un vide élevé, ce dernier peut avoir plusieurs centimètres, tandis que le premier n'a été observé que d'un millimètre de grandeur. En outre, nous trouvons également une chute de potentiel à l'anode ; mais, dans ce cas aussi, la différence entre les deux électrodes n'est que quantitative : tandis qu'à la cathode la chute peut s'élever à plusieurs milliers de volts, on ne trouve à une anode normale que 20 à 30 volts.

Étant donné surtout cette analogie des phénomènes, M. Gehrcke et moi nous demandâmes si, dans des conditions appropriées, l'anode ne serait pas, elle aussi, susceptible d'être le siège d'une radiation et d'émettre des ions positifs. Les nombreux essais, entrepris pour trouver cette radiation hypothétique en modifiant la forme et la position de l'anode et en se servant d'anodes en matière appropriée, furent d'abord complètement infructueux, lorsqu'un

(¹) Conférence faite le 23 avril 1908.

Voyez aussi les *Comptes Rendus* de la *Deutsche Physikal. Gesellschaft*, VIII, 24, p. 554-566 ; IX, 4, p. 76-83 ; IX, 9, p. 200-204 ; IX, 19-20, p. 374-378 ; X, 5, p. 217-225.

hasard mit enfin sur la bonne piste. Dans un tube dans lequel était placée une cathode de Wehnelt, se trouvait un fil de platine d'environ 3 centimètres de longueur, servant d'anode. Immédiatement après avoir raccordé ce tube à 110 volts, on fut surpris de voir aussitôt apparaître des rayons bien nets, d'une teinte jaunâtre, partant d'un petit point clair, l'anode. Très intensifs au début, ces rayons pâlirent rapidement et disparurent au bout de quelques secondes. L'examen montra qu'ils provenaient de traces de borax restées par hasard à la surface du fil de platine qu'on avait soudé au fil de cuivre servant de conducteur du courant. Une anode de platine bien nettoyée ne dénotait pas ce phénomène ; mais, dès qu'on la mettait en contact avec du borax ou du sel de cuisine, les rayons jaunâtres revenaient aussitôt avec une grande intensité.

Ce premier essai ayant montré le chemin pour les essais ultérieurs, ceux-ci furent poursuivis dans cette direction et l'on reconnut bientôt qu'outre le borax et le sel de cuisine une grande série d'autres sels, tels que par exemple LiCl , Li^2CO^3 , KCl , K^2CO^3 , RbCl , CsCl , CaCl^2 , BaCl^2 , en un mot tout sel fondant facilement et dissocié électriquement à l'état fondu, peuvent aussi servir d'agents actifs à l'anode. Il n'était donc pas étonnant que les oxydes alcalino-terreux, qui sont tout spécialement actifs à une cathode Wehnelt et qui ne se dissocient pas même à une température élevée, se soient montrés inactifs à l'anode. On obtient avec les corps indiqués ci-dessus des phénomènes lumineux qui émanent de l'anode et montrent les lignes spectrales du métal correspondant. Dans ces conditions, la première chose à faire était d'étudier en détail la nature de cette radiation. Toutefois ces rayons, provenant évidemment d'un potentiel faible, se prêtaient peu à l'étude, à cause de leur vitesse, vraisemblablement faible, et de leur forte absorption. En se servant de la cage Faraday, dans laquelle on recueillait les rayons, on pouvait bien démontrer leur charge électrique positive, mais il n'était pas possible de mesurer leurs déviabilités magnétique et électrique, à l'aide desquelles la grandeur et la vitesse des particules radiantes se calculent. Nous passerons sous silence les divers dispositifs d'essais pour la production de rayons rapides, nous bornant à parler de celui qui est actuellement utilisé.

La lettre K de la *fig. 1* désigne une cathode constituée par un disque d'aluminium ; l'anode est formée par une barre de sel A, entourée circulairement de verre et à laquelle le courant est amené

par un fil de cuivre introduit à l'intérieur. Le tube de verre a 2 à 3 millimètres de diamètre. Comme matière appropriée à la fabrication de l'anode, on peut se servir des mélanges d'un des sels indiqués plus haut, par exemple de LiBr, LiI, NaI, avec du graphite en poudre, le tout fondu ensemble. Les iodures sont les sels qui conviennent le mieux, non seulement parce que leur point de fusion est plus élevé, mais aussi pour une autre cause, que nous verrons plus loin.

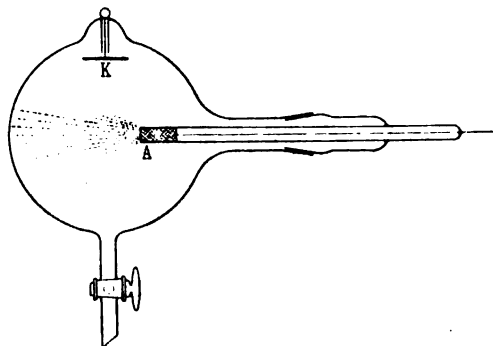


FIG. 1.

Avec un vide convenable, une anode en iodure de lithium donne au passage du courant (qui fut fourni par une machine à influence à 30 plateaux) des rayons aciculaires de couleur rouge clair, qui montrent les lignes du lithium dans le spectroscopie et produisent aux points où ils touchent le verre une fluorescence rouge jaunâtre. Les sels de sodium donnent des rayons jaunes, ceux de thallium des rayons verts et ceux de strontium des rayons bleus.

Il est surprenant qu'il se produise à ces anodes des chutes anodiques de plusieurs milliers de volts, de sorte que la chute anodique est souvent sensiblement supérieure à la chute cathodique; la cause de cette grande différence de potentiel s'explique en partie par les essais mentionnés à la fin de ce rapport. Ces rayons se prêtent beaucoup mieux que les précédents aux recherches, à cause de leur plus grande vitesse. Les essais ont montré que les rayons sont perpendiculaires à la surface de l'anode, d'où ils partent que des corps; qu'on interpose sur le trajet des rayons projettent des ombres nettes; que les rayons produisent à leur point d'incidence des fluorescences

caractéristiques et qu'ils sont déviés dans le sens de rayons à charge positive par des champs magnétiques et électriques. Comme on le voit, on peut très bien les mettre en parallèle avec les rayons cathodiques, et les différences que l'on trouve sont seulement quantitatives, mais non qualitatives.

On se demande maintenant si les particules projetées par les anodes sous forme de rayons se composent de petites particules de sel, ou si elles sont constituées par des ions métalliques qui s'échappent du sel fondu et dissocié; il nous est possible de répondre à cette question, si nous pouvons déterminer le rapport de la charge électrique à la masse de la particule volante, $\frac{e}{\mu}$, car nous savons que ce rapport est égal à $9,5 \times 10^3$ pour un ion hydrogène.

Cette détermination a été faite de deux manières : premièrement, à l'aide de l'effet de Doppler, comme le fit Stark pour les rayons-canaux. En observant une ligne spectrale d'un faisceau de rayons anodiques, se déplaçant vers la fente d'un spectroscopie, on remarque deux lignes au lieu d'une seule qu'on voit ordinairement, une « intensité reposante » (*eine ruhende Intensität*), comme l'appelle Stark, suivie (du côté des longueurs d'ondes plus courtes) d'un espace obscur assez large, puis de l'« intensité mouvementée » consistant en une clarté plus étendue, nette au bord extrême et vague au bord interne. Si l'on photographie cet effet de Doppler, que l'on détermine la grandeur du décalage des lignes et que l'on mesure la chute anodique à l'aide d'une sonde située dans le voisinage de l'anode, on peut alors calculer $\frac{e}{\mu}$ et la vitesse v des rayons.

En utilisant des rayons de sodium, nous avons calculé que, pour une chute anodique de 2200 volts, la vitesse des rayons les plus rapides est égale à :

$$v = 1,4 \times 10^7 \text{ cm/sec,}$$

et que

$$\left(\frac{e}{\mu}\right)_{\text{Na}} = 0,45 \times 10^3.$$

En tenant compte de la valeur indiquée ci-dessus de l'ion hydrogène, nous obtenons :

$$\frac{\mu_{\text{Na}}}{\mu_{\text{H}}} = 21,$$

ce qui correspond presque au poids atomique du sodium.

L'autre méthode de détermination de $\frac{e}{\mu}$ et de v consistait à mesurer la déviation des rayons dans un champ magnétique connu et à déterminer en même temps la chute anodique. Le tableau suivant donne un aperçu de quelques grandeurs trouvées pour les rayons de lithium, de sodium et de strontium :

Élément	v (cm/sec)	$\frac{e}{\mu}$	$\frac{P}{\mu}$	Poids atomique connu
Sodium	$1,76 \times 10^7$	$0,40 \times 10^3$	23	23
Lithium.....	$2,40 \times 10^7$	$1,15 \times 10^3$	8,3	7
Strontium.....	$1,08 \times 10^7$	$0,21 \times 10^3$	90	88

On a admis, pour calculer le poids atomique du strontium, que la charge e de la particule de strontium est le double de celle de la particule de lithium ou de sodium ; cette supposition est motivée par la double valeur du strontium.

Comme on le voit par ce tableau, les valeurs ici trouvées se rapprochent beaucoup des poids atomiques déterminés à l'aide d'autres méthodes. Nous sommes par conséquent en droit d'admettre que *ces rayons anodiques sont constitués par des ions métalliques positifs dont la vitesse provient du passage de la chute anodique.*

Une autre considération importante s'impose : Quelle est, pour ces anodes, la cause de la chute, de hauteur anormale, qui est d'un ordre de grandeur tout autre que la chute anodique normale ? La solution, au moins partielle, de ce problème est également due à une observation fortuite. On remarqua un jour, dans un tube renfermant plusieurs barres actives de sels, que des rayons intenses étaient aussi émis par une anode sur laquelle ne se trouvait aucun sel ; cette anode était simplement constituée par un fil de cuivre entouré d'un tube de verre ouvert et se terminant à l'intérieur de celui-ci à environ 1^{cm},5 de son bout. Selon toute apparence, ces rayons anodiques ne provenaient pas de traces de sel qui aurait été distillé des barres de sel voisines dans la direction du fil. En effet, ces rayons ne prenaient pas naissance sur le fil même, mais se formaient à l'extrémité du tube de verre. Ils ne montraient pas les lignes spectrales des sels en question, mais surtout les lignes de l'hydrogène. Il s'agissait donc évidemment de « rayons de striction », c'est-à-dire de rayons ayant leur origine dans un étranglement du chemin suivi par le courant dans le gaz.

Afin de pouvoir étudier ces rayons indépendamment de l'action de l'anode elle-même, nous procédâmes à leur examen dans des tubes semblables à ceux de la *fig. 2*.

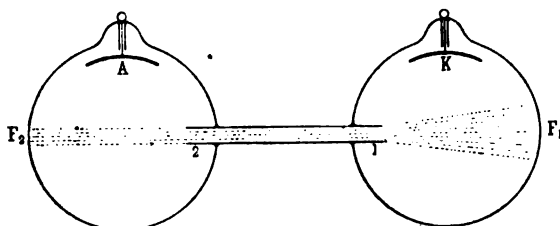


FIG. 2.

Si l'on remplit un tel tube d'hydrogène et si l'on y fait le vide, on constate au passage du courant la présence non seulement de rayons cathodiques partant de la cathode, mais aussi de « rayons cathodiques de striction », sortant du tube de jonction des deux sphères du côté de l'anode; c'est un fait généralement connu. On ne peut toutefois découvrir aucun rayon positif; mais, si l'on introduit des traces de vapeur d'iode dans le tube, il se produit aussitôt des rayons positifs de striction. Soit A l'anode et K la cathode dans la *fig. 2*, ces rayons sortent par le raccord tubulaire 1; ils montrent au spectroscope les lignes de l'hydrogène et provoquent en F_1 , à un vide approprié, la fluorescence caractéristique des rayons positifs; en 2, il y a production de « rayons cathodiques de striction », qui produisent une fluorescence verte en F_2 . Cet essai démontre clairement que la production de rayons anodiques de striction est favorisée au plus haut point par la présence d'une faible quantité d'iode. On remarqua, au cours des essais, qu'en plus de l'iode d'autres halogènes ou leurs combinaisons, par exemple le brome, le chlore, HBr , HI , HCl , peuvent provoquer la naissance de rayons anodiques de striction. Les essais dans la vapeur d'iode furent toutefois les plus réussis. C'est ce qui explique le fait mentionné plus haut que les iodures sont justement les sels convenant le mieux pour la production des rayons anodiques. Il ressortit également des essais qu'en présence des corps mentionnés ci-dessus, non seulement l'hydrogène, mais aussi l'oxygène et l'hélium, ont la faculté de produire des rayons, tandis qu'avec l'azote les résultats furent infructueux. Les rayons de l'oxygène ont une couleur grise, ceux de l'hélium une

couleur variant du verdâtre au rougeâtre aux différentes parties des rayons.

On constata, à l'aide de sondes introduites aux endroits appropriés, que, dans le raccord tubulaire 1, il y a une chute de potentiel élevée, pouvant atteindre des valeurs de 2000 volts et plus, tandis que, dans le reste du tube de jonction, le gradient de potentiel est très petit. Aussi bien les rayons cathodiques de striction que les rayons anodiques de striction ont leur origine dans le raccord 1. L'anode même dénote aussi dans ces tubes, s'il s'y trouve de l'hydrogène et de l'iode, une chute de potentiel très élevée, et, avec une surface d'anode suffisamment petite, on obtient par suite aussi qu'il s'en échappe des rayons anodiques d'hydrogène. Nous sommes donc en face d'un cas *d'émission de rayons positifs d'une anode métallique, par exemple en aluminium, à une température ordinaire.*

Il ressort des essais qui viennent d'être décrits que l'iode et les autres corps mentionnés ci-dessus jouent un rôle important, aussi bien pour la formation de rayons anodiques que pour celle de rayons anodiques de striction. Pour le moment, il est impossible de se prononcer avec certitude sur le mécanisme de ces phénomènes.

Les spectres des rayons anodiques sont d'une nature excessivement simple. Les rayons de sodium montrent, par exemple, au spectroscopie les lignes D ; ceux de lithium, les lignes rouges, orange et bleues. Des essais, encore non publiés, que j'ai faits avec des rayons de sels alcalino-terreux, ont fourni également des spectres très simples en comparaison de ceux des étincelles et des arcs. On ne trouve, par exemple dans le spectre des rayons anodiques de strontium, en plus de la ligne principale 4 608, que deux paires isolées 4 216, 4 078, 4 306, 4 162, qui ont la même différence vibratoire et, comme le montrèrent Runge et Precht, ont une parenté étroite avec le poids atomique du strontium. Il y a des particularités analogues pour le calcium et le baryum ; les rayons de calcium sont violets et ceux de baryum bleus.

En plus de ces rayons, composés d'ions métalliques, on obtient parfois, avec des anodes de calcium et de baryum, surtout si elles sont fraîchement préparées et renferment encore une assez grande quantité d'eau, des rayons d'une teinte plus rougeâtre, qui montrent au spectroscopie une série de bandes rouges, que l'on attribue généralement à l'oxyde. Mais il n'est pas possible de dire, pour le moment, si ces rayons se composent vraiment de particules d'oxyde

métallique. Toutefois est-il que l'on a, dans les rayons anodiques, un moyen de déterminer les porteurs des différentes lignes spectrales.

SUR QUELQUES PHÉNOMÈNES DUS AUX RENCONTRES ENTRE ÉLECTRONS, IONS, ATOMES ET MOLÉCULES ;

Par M. AUGUSTE RIGHI (1).

Le choix du sujet pour cette conférence a été déterminé par les considérations suivantes.

Avant tout, j'ai pensé que j'aurais mieux réussi à entretenir l'attention des auditeurs en traitant quelque question qui se rattache intimement à ces théories modernes qui, en ce moment, excitent l'intérêt des physiciens.

En second lieu, il m'a semblé que c'était pour moi un devoir envers ceux qui m'avaient fait l'honneur de m'inviter, de donner à une partie au moins de mon exposition un certain cachet personnel. Or, dans la conférence qui suit, j'aurai en effet occasion soit de rappeler certaines recherches à moi déjà anciennes, soit de rapporter les premiers résultats d'une étude expérimentale en cours d'exécution.

Je ne me propose naturellement pas de prendre en considération tous les cas possibles de rencontre entre des électrons et des particules matérielles, électrisées ou non, car cela donnerait à mon discours une trop grande étendue et m'obligerait à parler de faits trop connus ou trop peu importants. Ainsi je ne m'occuperai pas de ce qui se produit lorsque deux particules matérielles neutres arrivent près l'une de l'autre, et je supposerai toujours qu'il s'agit d'ions ou d'électrons qui se rencontrent entre eux, ou qui rencontrent des atomes ou des molécules ; même je n'aborderai qu'un très petit nombre de cas de cette espèce.

Pour la clarté de mon exposition, je tiens tout d'abord à bien définir le sens que je donne au mot *ion*. Plusieurs physiciens comprennent aussi sous cette dénomination les électrons, c'est-à-dire les charges élémentaires indivisibles qui, lorsqu'elles sont animées par un mouvement de translation, constituent les rayons cathodiques, qui possèdent une inertie apparente ou électromagnétique due à leur mou-

(1) Conférence faite le 28 avril 1908.

vement, et qui, suivant les idées nouvelles, font partie de la constitution de tout atome. Je préfère, avec d'autres physiciens, réserver le mot *ion* pour désigner un atome qui a été privé d'un ou de plusieurs électrons négatifs (ion positif mono- ou plurivalent), ou dans la structure duquel un ou plusieurs électrons négatifs ont été ajoutés (ion négatif mono ou plurivalent). Il est bon aussi, pour abréger le langage, de convenir que, lorsqu'on parle d'électrons, il s'agit toujours d'électrons négatifs. Les électrons positifs, en admettant qu'ils existent réellement, ont échappé jusqu'ici à tous les essais qu'on a faits pour les isoler, ou, tout au moins, on peut dire qu'il n'est pas bien démontré qu'ils puissent exister libres comme les électrons négatifs.

Il est bien entendu que rien ne s'oppose à admettre l'existence des électrons positifs, même à défaut de la possibilité de les isoler. Ainsi beaucoup de physiciens, les physiciens allemands surtout, considèrent les atomes comme des systèmes d'électrons des deux espèces, pendant que d'autres, les physiciens anglais surtout, préfèrent considérer la partie positive d'un atome comme une sphère positive unique, sorte de grand électron positif à l'intérieur duquel, et autour de son centre, se meuvent les électrons négatifs. Une telle structure, comprenant des électrons satellites, qui est suggérée par certains phénomènes, peut être admise aussi, si l'on y tient, si l'on croit à l'existence des électrons positifs. Il suffit pour cela de supposer la sphère positive précédente constituée par l'ensemble de tous les électrons positifs avec une partie des négatifs, formant un ensemble positif, pendant que les électrons négatifs restants se meuvent suivant des orbites fermées.

Que l'on considère d'une manière ou de l'autre la structure d'un atome, on comprend que, lorsque deux atomes ou deux molécules, etc., ou généralement deux particules matérielles, se rapprochent de plus en plus, des forces diverses suivant les circonstances devront se manifester. S'il s'agit d'ions ou d'électrons, il est vraisemblable que, lorsque leur distance est très grande par rapport aux dimensions atomiques, on n'ait à considérer qu'une force électrique égale à celle qui existerait si les charges étaient concentrées en deux points. Mais si, au contraire, ladite distance devient assez petite, cette simplification ne peut se faire, et il faut tenir compte des forces multiples effectivement existantes, dont les effets peuvent à chaque instant changer du tout au tout, suivant l'orientation réciproque des deux particules.

Un des résultats que peut avoir un tel rapprochement entre un ion ou un électron, d'une part, et un atome ou une molécule, de l'autre, c'est l'ionisation de ces derniers, c'est-à-dire la séparation d'électrons (généralement de un) qui resteront longtemps libres, ou ne tarderont pas à s'attacher à des atomes et à former ainsi des ions négatifs, suivant que la pression du gaz dont ces particules font partie est très petite ou très élevée.

Pour que l'ionisation puisse avoir lieu, il faut naturellement qu'une certaine quantité d'énergie soit dépensée, et, s'il n'y a pas de source étrangère, elle doit être fournie par la force vive de translation. Celle-ci ne fera pas défaut et même deviendra considérable pour des ions ou des électrons placés dans un champ électrique. Mais, s'il n'y a pas de champ électrique, ou s'il est assez faible, les vitesses restent, en moyenne, très petites, et les rencontres des ions avec les molécules ou les atomes ne peuvent donner lieu à la production de nouveaux ions.

Je ne me propose pas de vous entretenir du premier de ces deux cas extrêmes possibles, c'est-à-dire de l'ionisation par choc, qui est la base de la théorie des décharges électriques autonomes ; je m'arrêterai, au contraire, sur le deuxième, pour étudier des phénomènes de deux espèces différentes, qui se présentent alors.

Considérons, en premier lieu, un gaz à la pression ordinaire contenant des ions et placé dans un champ électrique faible. Ces ions, qui peuvent avoir une origine quelconque, possèdent une vitesse dont la composante parallèle à la direction du champ ira en croissant entre deux rencontres successives, sans toutefois que l'énergie arrive à la valeur nécessaire pour qu'il y ait ionisation. A chaque nouvelle rencontre, la vitesse de translation d'un ion subira généralement une diminution et, dès qu'il s'éloignera de la particule qu'il a rencontrée sur son chemin, la force électrique lui communiquera une nouvelle vitesse. On pourrait croire que, dans des conditions telles que celles-ci, il ne puisse se produire qu'une confusion complète, ou du moins aucun phénomène digne de remarque ; mais il n'en est rien, comme on va le voir.

J'ai en effet autrefois démontré que les mouvements des ions dans un gaz ionisé à la pression atmosphérique présentent dans leur ensemble une remarquable régularité, lorsqu'il existe un champ électrique, assez faible toutefois pour que l'ionisation par choc n'ait pas lieu, ou n'ait lieu que dans un petit espace.

Mes expériences sur les ombres électriques dans l'air libre sont déjà anciennes, car elles ont été commencées en 1881, bien avant donc que la théorie des ions et des électrons ait pris naissance. On admettait alors généralement que les ombres de Hittorf, Goldstein et Crookes étaient dues à des molécules gazeuses électrisées négativement et repoussées par la cathode, et mon but était de voir si, comme je le supposais, on pouvait produire des phénomènes semblables dans l'air non raréfié. Dans mes premières expériences, l'émission des particules électrisées était obtenue par la décharge entre une pointe aiguë et un plateau conducteur placé vis-à-vis de la pointe ; et voici comment on peut les expliquer aujourd'hui avec les termes que suggère la théorie des ions.

Très près de la pointe il y a, comme l'on sait, deux régions d'ionisation par choc, qui fournissent l'une à l'autre les ions ; mais, dans la plus grande partie du champ électrique, celui-ci peut être assez faible pour que les ions de même nom que la pointe, les seuls qui se meuvent alors dans la plus grande partie du champ, soient incapables d'ioniser par choc les molécules de l'air, qu'ils rencontrent sur leur chemin. Les chocs, naturellement très fréquents à la pression atmosphérique, n'ont d'autre effet que d'empêcher les ions d'accélérer sans limite leur mouvement, et même de maintenir leurs vitesses à de faibles valeurs. Il s'ensuit que les ions se meuvent à tout instant à peu près dans la direction de la force électrique. Leurs trajectoires différeront donc très peu des lignes de force, et tout obstacle placé sur leur chemin projettera une ombre.

Pour vérifier cette prévision, il fallait trouver quelque artifice pour rendre cette ombre visible, et on y arrive, par exemple, en plaçant devant la pointe et au delà de l'obstacle, et précisément tout près de l'électrode plane, une lame isolante, qui s'électrise partout où l'obstacle ne la défend pas des ions qui la bombardent. Le mélange bien connu de minium et de soufre en poudres très fines rend facilement visible cette ombre.

On peut aussi opérer de la manière suivante : On dépose sur le plateau métallique, placé cette fois horizontalement, au-dessous de la pointe tournée vers le bas, une couche légère d'une poudre conductrice. Celle-ci sera vivement projetée loin par la région située dans l'ombre, car ici les ions n'arrivent pas pour décharger les particules de poudre, qui retombent donc continuellement à leur place sur le plateau.

Je puis vous montrer une expérience de ce genre, que l'on pourra considérer comme dédiée aux dames, car je vais employer un objet qui est en même temps un des produits de leurs mains habiles et un des coefficients de leur élégance. J'emploie en effet comme obstacle destiné à arrêter les ions et à projeter son ombre un morceau de dentelle, placé horizontalement entre cette pointe tournée vers le bas et communiquant avec le pôle négatif de la bobine d'induction, et ce papier blanc placé au-dessous sur un plan conducteur communiquant avec le pôle positif. Après avoir déposé une légère couche de limaille de fer très fine sur le papier, je mets en action la bobine pour un instant. Voilà l'ombre blanche de la dentelle sur fond noir qui s'est produite de la manière décrite auparavant.

Ainsi, une pointe électrisée ne produit pas tout simplement, comme on a cru pendant longtemps, un courant d'air analogue à celui que l'on pourrait obtenir en soufflant dans un tube effilé.

Plus tard j'obtins des résultats tout à fait semblables dans l'air ionisé, non plus par la décharge, mais par l'action des radiations sur les corps électrisés négativement, ou par l'action sur l'air des radiations de Röntgen ou de celles émises par les corps radioactifs, ou enfin en ionisant l'air au moyen d'un fil de platine incandescent.

Mais des expériences de cette sorte seraient peu probantes, si l'on ne pouvait s'assurer de l'identité presque parfaite entre les trajectoires réellement parcourues par les ions et les lignes de force du champ. Comme la forme de ces lignes est presque toujours très compliquée, j'ai eu recours aux distributions cylindriques, et précisément au cas du champ dû à deux cylindres à section circulaire, parallèles entre eux et chargés avec signes contraires. L'un d'eux peut être constitué par un plateau communiquant avec la terre. On sait que, dans ce cas, les lignes de force sont des arcs de cercle, et il est très aisé de calculer le point d'arrivée de l'une d'elles sur un des deux conducteurs, lorsqu'on se donne le point de départ sur l'autre conducteur, ou bien un quelconque de ses points. Cela permet d'indiquer d'avance la forme et la place de l'ombre projetée par un obstacle donné. L'accord avec l'expérience fut toujours des plus satisfaisants.

Les changements, que j'ai constatés par expérience, lorsqu'on diminue la pression de l'air, sont, eux aussi, en plein accord avec ce que l'on pouvait prévoir. Pendant qu'aux hautes pressions on n'a affaire presque exclusivement qu'à des ions des deux espèces,

lorsque la pression diminue de simples électrons se présentent en nombre croissant à la place des ions négatifs. En même temps, les rencontres des particules électriques, ou électrisées, avec les molécules, deviennent de plus en plus rares; les ions et les électrons parcourent donc des trajectoires qui diffèrent de plus en plus des lignes de force et qui se rapprochent des tangentes à ces lignes aux points de départ, jusqu'à ce qu'enfin ces trajectoires deviennent sensiblement rectilignes. On vérifie donc qu'il existe un passage graduel entre le cas des ions, qui suivent presque exactement les lignes de force, et le cas des électrons, qui constituent les rayons cathodiques, ou le cas des ions positifs, qui constituent les rayons-canaux.

Dans tous les cas, ce n'est que d'une manière approximative que les ions suivent les lignes de force; ils peuvent même s'en écarter d'une manière marquée, particulièrement là où le champ a une plus grande intensité, par exemple près des conducteurs. De là la possibilité de les faire passer par de petites ouvertures percées dans une électrode, précisément comme lors de la production des rayons-canaux dans un tube à vide.

Pour réaliser ce phénomène, je n'ai eu qu'à substituer à la plaque métallique, placée vis-à-vis de la pointe aiguë dans l'expérience primitive, une toile métallique. Alors certains des ions partis de la pointe et arrivés très près des fils métalliques, au lieu de se diriger sur eux en suivant les lignes de force, peuvent les contourner et passer au delà de la toile. Un conducteur électrisé en sens contraire des ions et placé au delà de celle-ci pourra régler et diriger leurs mouvements, et dans ce nouveau champ électrique on pourra mettre en évidence le fait qu'ils en suivent sensiblement les lignes de force.

Pour vous montrer avec quelle précision s'effectue ce mouvement des ions, je vous présenterai le résultat d'une expérience qui était disposée comme dans la figure (*fig. 1*) projetée devant vous en ce moment: A est la pointe; BC, la toile métallique traversée par les ions partis de A; GF est un plateau conducteur électrisé en sens contraire de la pointe, et DE une lame d'ébonite placée près de sa surface. Comme BC est en communication avec le sol, il se forme entre BC et FG un champ sensiblement uniforme. Dès lors les ions, qui traversent les ouvertures de la toile, portent sur l'ébonite leur charge, que le mélange de minium et de soufre rendra visible. Voici l'image photographique de l'ébonite après l'expérience (*fig. 2*) et,

à sa gauche, celle de la toile. Vous pouvez apprécier ainsi avec quelle précision les ions ont formé, pendant leur mouvement, des faisceaux à section carrée, et ont imprimé sur l'ébonite une image fidèle des ouvertures de la toile. Dans cette expérience, le champ étant uniforme, il n'y avait pas, de la part des ions, tendance à s'écarter des lignes de force. Mais les résultats sont non moins satisfaisants avec des champs non uniformes.

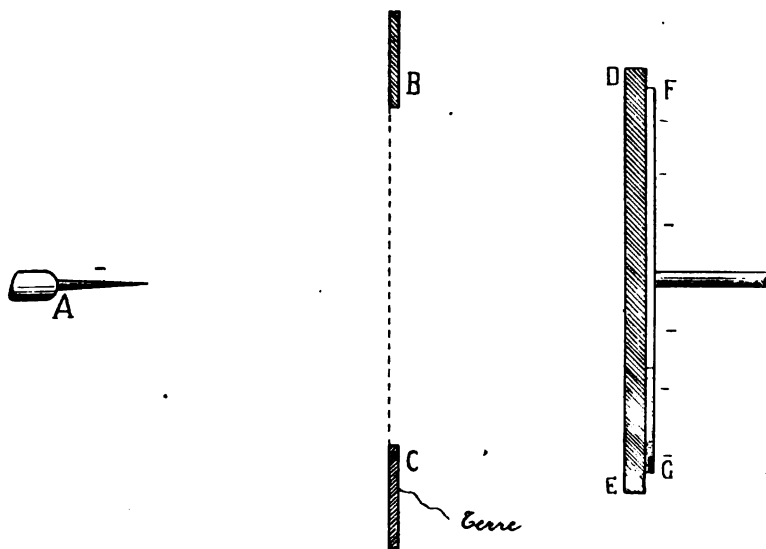


FIG. 1.

D'après ce que je viens de vous exposer à propos des ombres électriques, on comprendra que, pour bien connaître les phénomènes qui se produisent lors de la rencontre d'un ion avec une molécule, il ne faut pas se limiter, comme on le fait généralement, à considérer seulement l'ionisation de celle-ci.

Mais d'autres phénomènes encore, qui sont d'une nature tout à fait différente, peuvent se produire lorsque des ions rencontrent des atomes ou des molécules sans les ioniser.

Si deux particules matérielles se trouvent très près l'une de l'autre, et si leurs vitesses diffèrent assez peu en grandeur et en direction, il peut se faire que, au moins temporairement, les forces réciproques entre les électrons dont elles sont constituées les maintiennent unies. Sans exclure la possibilité d'une réunion entre deux molécules, celle

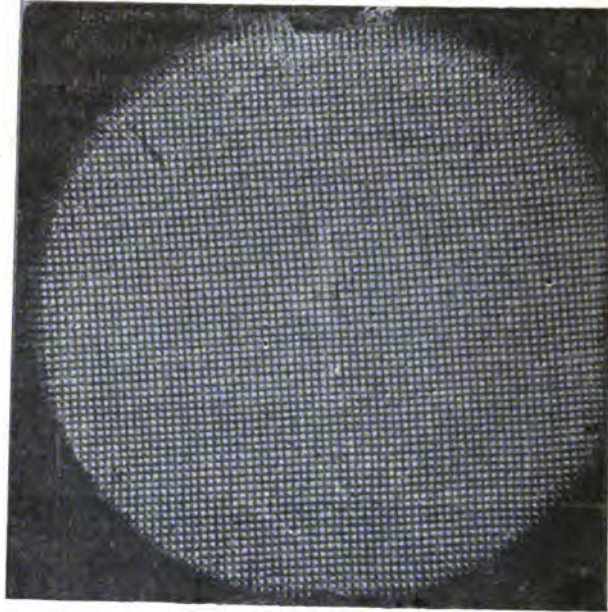
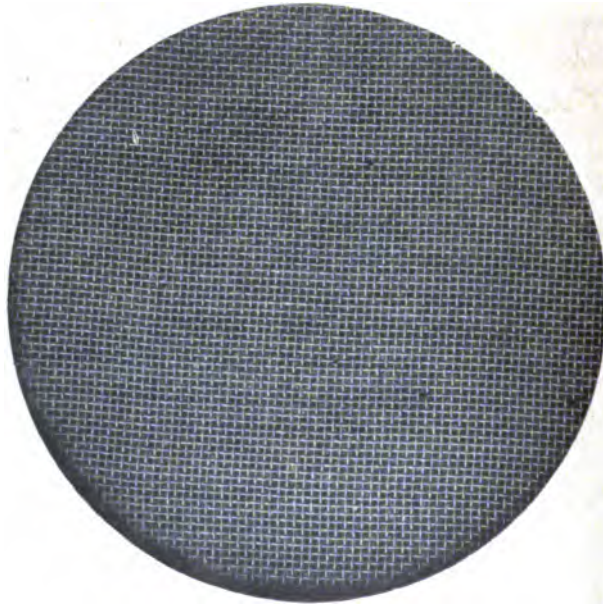


FIG. 2.



entre un ion et une molécule paraît être naturellement la plus probable. Il paraît probable aussi qu'un ion puisse s'agréger successivement plusieurs molécules en formant entre elles un lien, et donnant lieu ainsi à la constitution d'une masse beaucoup plus considérable que celle d'une molécule ou d'un ion, et cependant ne portant qu'une charge égale à celle qui correspond en valeur absolue à un électron. Des systèmes de ce genre pourront être continuellement détruits par de nouvelles rencontres, mais d'autres pourront se former à tout moment.

Rien ne s'oppose à admettre qu'un ion de signe contraire puisse adhérer à un de ces systèmes ; il paraît même probable que ce fait doive se produire très souvent. On aura alors un système neutre, de masse plus considérable que celle d'une simple molécule.

A mon avis, les gros ions découverts par M. Langevin dans l'air, et que M. Bloch a démontré exister dans d'autres circonstances, et cette espèce de gros ions latents, c'est-à-dire de grosses masses prêtes à devenir de gros ions, mis en évidence par M. de Broglie, sont la réalisation de ce que je viens d'imaginer. L'existence de ces intéressants phénomènes ayant été révélée ici, je n'oserai pas m'y arrêter. Je préfère indiquer, comme j'ai eu déjà occasion de le faire il y a quelques mois, certaines analogies qu'ils me semblent présenter avec d'autres phénomènes de nature différente.

Il y a lieu de croire que des agrégations pluriatomiques ou pluri-moléculaires semblables à celles dont j'ai parlé tout à l'heure puissent se former dans le sein des liquides, électrolytes ou non. En particulier, je ne puis m'empêcher de voir une analogie intime entre les gros ions et les granules d'un colloïde.

Comme les ions dans les gaz ou dans les électrolytes, les granules des solutions colloïdales possèdent une charge électrique, et tout le monde connaît les expériences élégantes de MM. Cotton et Mouton, qui rendent directement accessibles à la vue les mouvements des granules dans un champ électrique. Mais leur mobilité est si petite, lorsqu'on la compare à celle des ions dans un électrolyte, que la conductibilité d'un colloïde est extrêmement faible par rapport à celle d'une solution saline. Comme cette petitesse de la mobilité tient vraisemblablement à la grandeur de la masse, on voit que les granules d'un colloïde sont aux ions d'un électrolyte ce que sont les gros ions aux ions gazeux ordinaires.

En suivant cette voie des analogies, on peut arriver très loin, jus-

qu'à ne plus voir aucune ligne de séparation bien nette entre les molécules et des masses assez considérables pour qu'on doive les appeler des corps.

D'abord on reconnaît généralement qu'il serait difficile d'établir une ligne de démarcation très nette entre les vraies solutions et les liquides colloïdaux. Il est vrai que ceux-ci ont une structure essentiellement discontinue, qui souvent est rendue perceptible par l'ultramicroscope, mais qui plus généralement est révélée par la diffraction de la lumière qui les traverse ; mais, suivant MM. Lobry et Wolff, une action semblable peut être produite par de vraies solutions salines, dont les molécules donneraient lieu à la diffraction ; suivant une théorie connue, les molécules de l'air produiraient par diffraction le bleu du ciel.

On peut ajouter que, comme sous l'action de la pesanteur, ou, d'une manière plus rapide, au moyen de la centrifugation, on peut séparer les granules d'un colloïde, suivant lesdits auteurs on arrive à concentrer par centrifugation dans les régions périphériques une solution d'iodure de potassium. Si ces résultats remarquables sont généralisés, on devra bien admettre que granules et ions électrolytiques ne diffèrent au fond surtout que par la grandeur de leur masse, et reconnaître que ce qui est mouvement rapide et invisible de l'ion peut se transformer sans transition brusque en mouvement brownien du granule, que ce qui est diffusibilité rapide et conductibilité électrique assez marquée dans les solutions salines devient en conséquence pression osmotique et conductibilité presque nulles dans les colloïdes, et ainsi de suite.

Mais, d'un autre côté, certaines analogies frappantes paraissent exister entre les liquides colloïdaux et les simples suspensions, c'est-à-dire les liquides dans lesquels nagent des particules solides extrêmement petites, obtenues au moyen d'une précipitation chimique ou d'une autre manière quelconque. Je ne considérerai à ce propos que la question suivante :

Supposons que l'on détermine la densité d'un colloïde ou d'une suspension au moyen du picnomètre. Il est évident que le résultat numérique auquel on parvient coïncide avec celui qu'on pourrait calculer d'avance si l'on connaissait la densité du liquide dans toute son extension et celle des granules ou des particules suspendues, ainsi que leur volume. Mais, si l'on mesure la densité au moyen de l'aréomètre, il paraît, tout au moins dans le cas des suspensions,

que l'on doive obtenir un résultat différent, et précisément la densité du liquide seul. En effet, la présence de particules solides dans un liquide ne paraît pas devoir exercer la moindre influence sur la poussée hydrostatique que ressent l'aréomètre.

Au contraire, le résultat que l'on obtient avec l'aréomètre diffère d'autant moins de celui que l'on obtient avec le picnomètre que les particules solides sont plus petites et tombent plus lentement.

Des recherches récentes de M. Loeffler et de quelque autre physicien ont donné la clef de l'explication de ce fait curieux, basée sur l'action des courants liquides produits par les particules tombant lentement. Or, vu la continuité qui apparaît entre ions, granules et petits solides en suspension, on serait tenté d'appliquer une explication mécanique semblable au fait de l'augmentation de densité d'un liquide, lorsqu'on y dissout un sel quelconque.

De ce que je viens d'exposer rapidement, on peut conclure, que les agrégations qui peuvent se former lors des rencontres entre ions et atomes ou molécules peuvent être plus ou moins complexes, peut-être à d'innombrables degrés, et que la conception classique, suivant laquelle il y a simplement des corps ou des éléments cristallins, ou des molécules, ou des atomes, ou (on pourrait ajouter aujourd'hui) des électrons, devrait être modifiée par l'admission de l'existence d'une infinité de degrés par lesquels on peut passer de la molécule aux corps proprement dits.

Ces considérations nous ont transporté dans la mer. périlleuse des hypothèses fantastiques. Hâtons notre retour à terre pour arriver au sujet principal de ma conférence et considérer, cette fois avec une certaine extension, un dernier cas de rencontre, et précisément celle entre un électron et un ion positif.

On n'a jamais songé, que je sache, à un cas possible, qui me semble mériter cependant l'attention des physiciens. On admet que la rencontre entre un électron et un ion positif a pour conséquence immédiate leur neutralisation, c'est-à-dire leur union pour former un atome neutre. Naturellement on n'exclut pas, bien que l'on n'ait pas occasion de l'affirmer, que, sous certaines conditions de grandeur et direction de leurs vitesses, l'électron et l'ion positif puissent, après s'être approchés jusqu'à une certaine distance minimum, rester séparés et s'éloigner l'un de l'autre, emportés par leurs vitesses respectives.

Eh bien ! il me semble qu'il y a un troisième cas possible, et précisément la formation d'un système binaire, neutre dans son ensemble, mais bien différent d'un atome. Je conçois ce système comme une espèce d'étoile double. Les deux astres qui la composent sont l'électron et l'ion positif ; la gravitation, qui oblige les deux astres à tourner autour du centre de leurs masses, est ici remplacée par l'attraction électrique. Je crois que la possibilité de la formation de systèmes semblables ne peut être niée par personne ; car, entre le cas où l'électron et l'ion s'approchent si peu et dans des conditions telles qu'ils restent séparés, et l'autre cas extrême dans lequel ils s'approchent de manière que l'électron entre dans la structure de l'ion en le transformant en atome, il doit y avoir le cas intermédiaire dans lequel l'électron s'approche assez de l'ion pour être capté, tout en restant assez éloigné pour que l'ion agisse sur lui comme un centre unique chargé positivement.

Une fois cette possibilité admise, il fallait examiner si, et dans quelles conditions, on pouvait espérer déceler la présence de ces nouvelles structures atomiques dans un gaz ionisé.

Avant tout, il paraît évident qu'une structure de cette espèce sera très instable, car, à la suite de sa rencontre avec un ion ou une molécule, aura lieu ou la séparation de l'électron de l'ion positif, ce qui sera bien plus facile que l'ionisation d'un atome, ou un rapprochement de l'électron à l'ion, qui déterminera leur combinaison ; mais, tant qu'aucune rencontre n'aura lieu et qu'il n'y aura pas de force perturbatrice, la petite étoile double ne cessera d'exister, et chacune des deux parties dont elle est constituée suivra sans altérations son orbite. Et, comme la masse de l'ion est assurément très grande par rapport à celle de l'électron, on pourra, pour simplifier, admettre que celui-ci tourne autour de l'ion comme une planète autour du Soleil.

Abstraction faite du mouvement de translation que le système entier possédera généralement, l'orbite de l'électron pourra être, dans un cas particulier, une circonférence. Et, comme une charge électrique qui se meut suivant une courbe fermée, par exemple une circonférence, doit montrer dans une certaine mesure les propriétés d'un courant fermé ou d'un élément magnétique, il est tout naturel de se demander quel effet produira sur les systèmes considérés un champ magnétique.

Or, bien que malheureusement on ne puisse raisonner qu'à l'aide

d'analogies, on arrive à se persuader que très probablement le champ magnétique, suivant les cas, augmentera ou rendra encore plus petite la stabilité du système ion positif-électron. Considérons en effet deux cas très simples, qui paraissent être en même temps ceux de la stabilité maximum et minimum. Dans l'un comme dans l'autre, nous supposons que l'électron tourne circulairement autour de l'ion, mais dans les deux cas avec des sens de gyration opposés; nous admettons aussi que le champ est perpendiculaire au plan de l'orbite. Il est évident que la force électromagnétique qui entre en jeu, laquelle est en même temps perpendiculaire à la vitesse de l'électron et à la direction du champ, s'ajoutera dans un cas à la force électrique qui retient l'électron dans son orbite, et se retranchera dans l'autre cas de ladite force. Lorsque les deux forces agissant sur l'électron ont même sens, on aura la plus grande stabilité possible, car c'est comme si l'attraction réciproque entre l'ion et l'électron était augmentée. Lorsque la force électrique et la force électromagnétique sont opposées, on aura naturellement un effet contraire, et la stabilité sera moindre que sans le champ magnétique.

Si l'orbite n'est pas circulaire, ce sera une composante de la force électromagnétique qui devra être prise en considération; mais on ne peut pas approfondir cette question de la stabilité, faute de connaître comment la trajectoire reste modifiée sous l'action du champ, même lorsqu'elle était d'abord circulaire. En tout cas, on doit bien admettre que le champ confère une certaine stabilité à quelques-uns des systèmes doubles considérés ici.

Cela suggère la voie à suivre, si l'on veut chercher à mettre en évidence l'existence de ces hypothétiques étoiles doubles. Si vraiment un champ magnétique augmente la stabilité d'un certain nombre d'entre elles, on devra les chercher dans un gaz placé dans un champ magnétique puissant. D'un autre côté, il convient de réduire dans une certaine mesure la pression du gaz, car de cette manière on diminue la fréquence des rencontres, mais, toutefois, sans arriver à de grandes raréfactions, car alors il y aurait peut-être trop peu d'ions positifs disponibles.

Enfin, comme en même temps que le champ magnétique il faut avoir aussi dans le gaz nombre d'ions et d'électrons, et qu'on les produit aisément au moyen des décharges, on voit que l'on est amené à porter l'attention sur les phénomènes de décharge électrique dans les gaz placés dans un champ magnétique puissant,

pour avoir quelque chance de trouver une manifestation de nos systèmes tournants.

Depuis quelques mois je m'occupe de cette question, et je vais résumer les quelques résultats déjà obtenus, et vous décrire quelques expériences qui sont pour la plupart encore inédites.

Le physicien allemand Plücker montra, il y a précisément un demi-siècle, ces bandes remarquables de lumières, qui partent de la cathode dans un tube à gaz très raréfié placé près des pôles d'un aimant, et qui ont une forme telle qu'elles contiennent les lignes de force magnétiques passant à travers la cathode. Onze ans après, Hittorf obtenait un phénomène semblable, mais compliqué par la présence d'une espèce d'hélice lumineuse partant de la cathode et contenue dans ladite bande de lumière. Plus tard, d'autres physiciens ont décrit des phénomènes analogues, et tout récemment M. Villard a publié sur ce sujet un travail vraiment remarquable, sur lequel j'aurai occasion de revenir.

On a considéré jusqu'à présent ces phénomènes comme dus aux rayons cathodiques, modifiés dans leur forme par le champ magnétique.

Cette forme, c'est-à-dire la trajectoire d'un électron dans un champ magnétique, peut se déterminer facilement si le champ est uniforme; et le résultat bien connu auquel on arrive est que l'électron doit se mouvoir suivant une hélice tracée sur un cylindre circulaire parallèle au champ, le rayon du cylindre étant d'autant plus petit que le champ est plus intense; et, comme on peut rendre visibles les rayons cathodiques, en dehors de la fluorescence qu'ils provoquent sur les parois, en réduisant convenablement la surface de la cathode et en employant un gaz qui ne soit pas trop raréfié, et cela à cause (suivant l'opinion admise généralement) d'une fluorescence de gaz, les hélices susdites pourront se voir nettement comme dans l'expérience de Hittorf ou comme dans un grand nombre des expériences très élégantes décrites par M. Villard.

Si au champ magnétique on ajoute un champ électrique uniforme, la solution analytique est encore assez simple; mais, pour des champs non uniformes, la détermination de la trajectoire d'un électron, est un problème qui présente des difficultés dignes d'être attaquées par votre grand Poincaré, qui en effet a résolu le problème dans le cas du champ dû à un simple pôle magnétique. Mais on comprend tout de même que dans un champ quelconque les rayons cathodiques s'en-

roulent autour des lignes de force en courbes, qui ressemblent plus ou moins à des hélices.

Pour expliquer les bandes de lumière de Plücker, Hittorf, etc., il faut ajouter la considération suivante :

De nouveaux rayons cathodiques se forment partout où les électrons en mouvement rencontrent un obstacle, corps ou molécule ; par conséquent, un rayon de forme hélicoïdale fera naître tout le long de chemin de nouveaux rayons, qui, sous l'action du champ, prendront aussi la forme approchée d'hélices. Mais ces hélices, en raison de la vitesse relativement petite des rayons cathodiques secondaires, seront tracées sur des tubes de rayon si petit qu'elles pourront ne pas se distinguer des tubes eux-mêmes, particulièrement lorsque la section transversale du faisceau cathodique n'est pas extrêmement petite. On explique ainsi la bande lumineuse dessinant un tube de force magnétique, qui contient l'hélice cathodique.

Ce tube de force lumineux est dévié par un champ électrique transversal dans une direction à peu près normale aux directions des deux champs, comme l'a observé M. Villard ; mais, comme l'a montré M. Fortin, on rend compte facilement de ce fait dans le cas de champs uniformes, en calculant la direction de l'axe de l'hélice dans ces nouvelles conditions.

Ces explications, bien que suffisantes en elles-mêmes, ne satisfont pas tout le monde, et M. Villard, dans le cours de ses expériences sur les rayons cathodiques dans le champ magnétique, a eu l'occasion de proposer l'hypothèse suivant laquelle la bande de lumière dessinant à peu près le tube de force ayant la cathode pour section serait la manifestation de rayons nouveaux de nature inconnue, qu'il a appelés *rayons magnéto-cathodiques*. Auparavant, M. Broca avait, lui aussi, été conduit à supposer l'existence de rayons différents des rayons cathodiques, qu'il appelait *rayons de seconde espèce*.

Eh bien, selon moi, les nouveaux rayons ne sont autre chose que les trajectoires de ces systèmes tournants, formés par un ion positif et un électron, dont j'ai parlé tout à l'heure, comme les rayons cathodiques ne sont que les trajectoires de simples électrons.

Bien qu'il n'existe aucune preuve décisive en faveur de l'existence de nouveaux rayons (car l'expérience capitale suivant laquelle le faisceau partant de la cathode dans un champ magnétique ne transporterait aucune charge n'a pas semblé, à M. Villard lui-même, assez sûre), toutefois, dès que j'ai exécuté des expériences de ce

genre, j'ai eu irrésistiblement l'impression qu'il y a réellement quelque chose de nouveau dans leur production, et même je suis arrivé à penser que, si l'on s'est contenté jusqu'à présent de l'explication connue, cela a été surtout à cause de l'absence d'autre explication meilleure.

Pour arriver à des preuves en faveur de mon hypothèse aussi sûres que celles qu'on a obtenues en faveur de la nature soupçonnée des rayons cathodiques, il faudrait avant tout pouvoir se rendre compte de la forme des trajectoires des systèmes tournants ion positif-électron dans le champ magnétique, qui en assure l'existence temporaire, et puis prévoir quels changements devraient avoir lieu en modifiant l'expérience, par exemple en ajoutant un nouveau champ magnétique, ou un champ électrique, ou autrement. Malheureusement cette voie de recherche ne peut être suivie dans le cas des nouveaux rayons, car, s'il est possible d'écrire avec certaines simplifications les équations différentielles du mouvement pour le système ion positif-électron, on ne réussit — ou tout au moins je n'ai réussi, — ni à les intégrer, ni à en déduire des conséquences aisément vérifiables par l'expérience. On en est donc réduit aux conjectures et aux analogies, ce qui fait que la recherche est pénible et telle que difficilement elle pourra conduire à des résultats indiscutables.

Une analogie qui se présente d'elle-même à l'esprit conduit à l'assimilation de l'électron tournant autour de l'ion avec un courant fermé ou avec un élément magnétique. C'est cette analogie qui justifie la dénomination de *rayons magnétiques* que j'emploie pour désigner les nouveaux rayons. Cette dénomination concise exprime mieux que toute autre la nature hypothétique des rayons dont il s'agit et leur manière de se comporter, comme on va le voir.

Pour profiter de l'analogie indiquée, supposons, d'abord, que le champ magnétique soit uniforme et que le plan du système ion positif-électron soit à peu près normal à la direction du champ. Ce système tendra à s'orienter, mais non à se déplacer. Si, au contraire, le champ n'est pas uniforme, le système tendra à se transporter vers la région où le champ a sa plus grande ou sa plus petite intensité, suivant le sens de gyration de l'électron.

Lequel des deux cas aura lieu pour les systèmes tournants dont le sens de gyration est tel que la stabilité soit augmentée par le champ ?

En tenant compte exactement du sens dans lequel agit la force électromagnétique sur l'électron, on trouve qu'il faut se tenir à la deuxième alternative, c'est-à-dire que le système ion-électron devra se déplacer de manière à se porter dans la région où le champ est plus faible, précisément comme s'il s'agissait d'un corps diamagnétique ou d'un conducteur dans la masse duquel, au moment de la création du champ, se seraient développés des courants induits.

Ainsi, lorsque le champ est dû à un pôle d'aimant placé près de la cathode, les couples tournants, qui constituent les rayons magnétiques, seront repoussés par le pôle, et les rayons s'allongeront de plus en plus si l'on fait croître l'intensité du champ.

Si l'on accepte cette prévision intuitive suggérée par une simple analogie, le fait que le champ semble être moteur pour ces rayons se trouve expliqué.

Quant au sens dans lequel le plan du système ion-électron tournerait, s'il était rigide, on trouve que, si son plan est normal aux lignes de force, il ne tend pas à s'orienter autrement, et que, s'il a une orientation assez différente, il tend à s'en éloigner de plus en plus; et, comme la force électromagnétique n'est plus alors concordante avec l'attraction électrique réciproque entre l'ion et l'électron, et finit même par avoir un sens opposé, le couple deviendra de plus en plus instable et disparaîtra bientôt. On peut donc, il me semble, se limiter à considérer comme constituant des rayons magnétiques les couples tournants dont le plan est à peu près normal au champ. Pour simplifier, on a admis ici que les orbites sont planes, ce qui, peut-être, n'est pas toujours vrai.

Si l'on fait agir sur les rayons supposés un deuxième champ magnétique, par exemple en approchant un aimant latéralement au tube à décharges, les rayons changeront de forme, parce qu'on a ainsi un champ magnétique résultant, nécessairement différent du champ primitif; et, pour chercher à deviner la nature de ces changements, on peut considérer que les rayons se comporteront vraisemblablement à peu près comme ces rayons cathodiques tordus en courbes ressemblant à des hélices dont, suivant l'opinion admise jusqu'ici, la bande lumineuse dessinant un tube de force magnétique serait uniquement composée. Donc les rayons, magnétiques se dirigeront à peu près vers le pôle approché latéralement, si celui-ci est de nom contraire à celui qui crée les rayons et ils seront repoussés dans le cas contraire. L'expérience montre effectivement que le faisceau

de lumière bleu violet partant de la cathode se comporte comme un fil très flexible de substance magnétique attaché au pôle principal par une de ses extrémités. Si vraiment les rayons magnétiques se comportent de cette manière, on ne pourra pas les séparer des rayons cathodiques tordus en hélices, qui existent assurément en même temps. Quant à l'effet que peut produire sur les couples tournants un champ électrique, une courte réflexion permet de se convaincre qu'un tel champ ne peut augmenter leur stabilité, et tend même à les détruire.

Enfin, avant d'en venir aux expériences, il faut chercher à comprendre comment les couples tournants pourront se former.

Près de la cathode, des électrons négatifs se meuvent en s'en éloignant avec une très grande vitesse, et en même temps des ions positifs se précipitent en sens contraire. Ce ne sera pas dans les rencontres des uns avec les autres que nos couples pourront se former facilement. Mais ils pourront prendre naissance lorsqu'un électron choque un atome ou une molécule. Ce sera, pour ainsi dire, une ionisation imparfaite qui pourra se produire. Mais plus facilement encore ils devront se former chaque fois qu'un électron et un ion positif s'approcheront avec des vitesses peu différentes en grandeur et direction. Or ce ne sont pas là des circonstances trop rarement vérifiées. En effet il a été, entre autres, démontré que, dans un tube à décharge, il y a toujours des ions positifs qui se meuvent dans le même sens que les rayons cathodiques.

Il faut observer en dernier lieu que, si les rayons magnétiques existent effectivement, on peut admettre qu'ils sont rendus visibles par la même cause que les rayons cathodiques, c'est-à-dire par la fluorescence du gaz qu'ils traversent.

Mes premières expériences ont eu pour but d'établir si les rayons partant de la cathode dans un champ magnétique transportent ou non des charges électriques. J'ai fait à ce propos un grand nombre de mesures avec un tube à décharge dans lequel les rayons cathodiques sont à peu près dirigés suivant l'axe de l'électro-aimant, et sont reçus dans une chambre de Faraday destinée à recueillir leur charge.

En créant le champ, et en augmentant peu à peu son intensité, on trouve que la charge négative transportée devient de plus en plus petite, sans toutefois qu'on arrive à la réduire à zéro.

Cela montre qu'effectivement il y a des rayons dont la charge

négative transportée diminue lorsque le champ croît, ou plus probablement qu'il se forme dans une mesure croissante des rayons qui ne transportent rien (ou qui transportent en même temps des charges de signes contraires) mélangés avec des rayons cathodiques. D'après la manière dont on a conduit les expériences, je crois que ce résultat est certain, malgré la conductibilité du gaz, qui n'était pas très raréfié. Evidemment il fournit une base solide à l'hypothèse des rayons magnétiques.

J'ai essayé après cela d'autres voies de recherche, et je me suis arrêté surtout à la suivante.

Si l'on concède aux rayons magnétiques un grand espace, pour qu'ils se développent librement dans le sens où l'intensité du champ magnétique décroît, ils doivent finir par disparaître, car la raison principale de la stabilité des couples ion positif-électron vient à manquer lorsque ces couples arrivent là où le champ est nul ou assez faible. Cherchons à prévoir ce qu'il en sera des ions et des électrons qui résultent de cette destruction.

Emportés par la vitesse qu'ils possèdent au moment de la séparation, les ions positifs et les électrons continueront certainement à se mouvoir dans le tube; mais il est probable que les mouvements des uns et des autres n'ont pas même durée, ou que leurs parcours après la séparation ne sont pas les mêmes. S'il en est ainsi, il y a lieu d'espérer en quelque manifestation de leur existence.

Dès que j'ai réalisé l'expérience, elle m'a semblé confirmer nettement mes prévisions.

Voici un des très nombreux tubes que j'ai construits pour cette expérience. La cathode est petite et entourée par un tube étroit, pour que le faisceau de rayons qu'elle, produit soit assez mince. Elle se trouve très près du pôle de l'électro-aimant, pendant que l'anode est placée dans une tubulure latérale de l'ampoule. Lorsque la décharge ou le courant (fourni par une machine à influence sans condensateurs et sans interruptions sur les conducteurs de communication)⁽¹⁾ passe, sans qu'on excite l'électro-aimant, il se forme la colonne positive rose ou rouge, stratifiée, dans le tube latéral, et les deux couches bleu violet bien connues près de la cathode; mais le tube est parfaitement obscur dans toute sa partie restante.

(1) Une petite interruption donnerait lieu à des phénomènes qui, jusqu'à un certain point, imitent ceux qui sont produits par le champ magnétique, et dont l'explication sera donnée ailleurs.

C'est ce qu'on peut voir dans cette projection (fig. 3) d'une photographie prise sur un tube beaucoup plus large que celui qui se



FIG. 3.



FIG. 4.

trouve devant moi. Dans cette photographie comme dans les autres que j'aurai à vous montrer, on voit quelque peu, en même temps que la lumière de la décharge, l'image du tube de la face polaire de

l'électro-aimant, car pendant la pose j'ai éclairé à dessein l'appareil. La partie large du tube apparaît toutefois obscure, parce qu'il était placé contre un fond de velours noir.

Lorsqu'on excite l'électro-aimant on a un changement remarquable que montre ce nouveau cliché (*fig. 4*). La stratification dans le tube latéral disparaît, et la colonne positive se colle sur la paroi par effet du champ. Mais, en même temps que ce phénomène connu, on observe un long faisceau de lumière, qui se prolonge très loin dans le tube et peut même arriver presque à son extrémité. Cette grande colonne lumineuse est nettement séparée en deux parties par un espace relativement obscur. Une des deux parties, celle qui commence près de la cathode, a généralement la couleur bleu violet de la deuxième couche cathodique ou des rayons cathodiques; elle contient, selon moi, des rayons tordus en hélices invisibles, et les rayons magnétiques.

L'autre partie a une couleur rose semblable à celle de la colonne positive ordinaire, sauf à son extrémité la plus éloignée de la cathode, où sa couleur tend au violet. Dans un tube très large, comme celui dont vous voyez l'image et qui a un diamètre d'environ 13 centimètres, la lumière rose affecte cette forme conique arrondie que vous voyez sur la projection; si, au contraire, on emploie un tube plus étroit, ce qui a ses avantages, sa forme est moins apparente, et la région obscure qui la sépare de la lumière bleue est moins bien visible.

Pour arriver à connaître la nature de ces colonnes lumineuses, j'ai observé l'action que produit sur elles un aimant.

Si l'on approche du tube latéralement un petit électro-aimant au voisinage de la lumière bleu violet, on voit une attraction ou une répulsion bien marquées, suivant la polarité, comme on devait s'y attendre; mais c'est en approchant le petit électro-aimant de la lumière rose qu'on observe des faits importants, que l'on peut énoncer en disant que la colonne rose se déplace et devient courbe dans un plan normal à la direction du champ du petit aimant, précisément comme la colonne positive d'un tube de Geissler.

La photographie projetée en ce moment devant vous (*fig. 5*) diffère de la précédente en ce que le petit électro-aimant, disposé avec son axe horizontal et perpendiculaire à l'axe du tube, agissait sur la lumière rose. Celle-ci est déplacée et courbée vers le bas. Le même effet peut se constater sur ces nouvelles photographies prises sur un

tube moins large. Dans celle que vous voyez en ce moment (*fig. 6*), la colonne lumineuse, qui, sous l'action du champ magnétique prin-



Fig. 5.



Fig. 6.

cipal, envahit tout le long tube, n'a été soumise à aucune autre influence. Dans cette autre image (*fig. 7*), on voit le déplacement produit par le petit aimant horizontal approché latéralement.

Ce qu'il y a de plus remarquable dans ce phénomène, c'est que la déformation de la portion de colonne rose exposée à l'action du petit



FIG. 7.



FIG. 8.

aimant change de sens lorsque celui-ci est déplacé convenablement suivant la direction du tube. Si, par exemple, on a un déplacement en bas avec l'aimant placé près de l'extrémité de la colonne rose, la

plus éloignée de la cathode (*fig. 7*) a au contraire un déplacement en haut, si l'on place l'aimant moins loin, comme on voit dans la photographie que je vous montre en ce moment (*fig. 8*). Pour une position intermédiaire du petit électro-aimant, on voit la portion de colonne rose exposée à son action rester en place en se dédoublant.

Il y a donc dans le tube deux courants électriques de sens contraires, et, si on tient compte de la polarité de l'aimant latéral, on trouve que tout se passe comme si, dans une certaine région du tube (celle où le petit aimant dédouble la colonne rose), il y avait une anode, et aux extrémités de la colonne rose deux cathodes. Le dessin projeté en ce moment (*fig. 9*) exprime cet état de choses dans le tube.

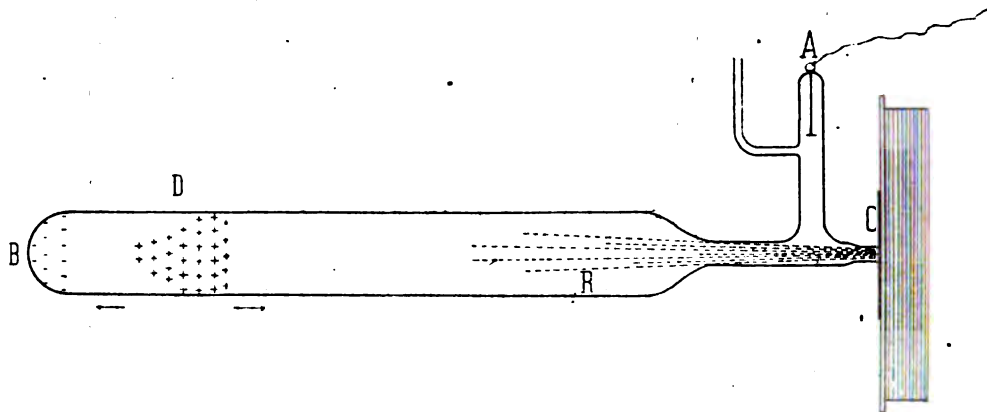


FIG. 9.

Le tube employé dans l'expérience lorsque, il y a quelques jours, j'ai pris les photographies que je vous ai montrées, est celui qui se trouve devant vous prêt à l'expérience. La machine à influence est mise en action, et voilà l'apparence ordinaire de la décharge, qui n'intéresse que la petite tubulure latérale contenant l'anode, et un petit espace près de la cathode. Je vais fermer le circuit du grand électro-aimant, et voilà la vive lumière qui envahit le tube jusqu'à son extrémité. J'excite à présent le petit électro-aimant placé latéralement avec son axe horizontal et perpendiculaire à l'axe du tube, et en face de l'extrémité de la colonne de la lumière rouge, et vous voyez la déformation qu'elle présente. Elle est en effet pliée en bas jusqu'au contact de la paroi inférieure du tube. Je déplace

enfin peu à peu le petit électro-aimant en le rapprochant de la cathode, et tout le monde peut constater que la déformation de la colonne lumineuse d'abord devient plus faible, puis s'annule et enfin change de signe. En ce moment la colonne lumineuse est en effet pliée en hant. Ceux qui se trouvent assez près de moi auront observé aussi, je l'espère, le dédoublement de la colonne lumineuse qui s'est produit lorsque le petit électro-aimant se trouvait à peu près à moitié du chemin que je lui ai fait parcourir.

Je n'hésite pas à considérer ladite anode virtuelle comme constituée par les ions positifs provenant de la destruction des rayons magnétiques, et la cathode virtuelle placée à l'extrémité du tube comme constituée par les électrons provenant de la cathode.

Mais il y a plus encore, car, en parfait accord avec ce que mon hypothèse permet de prévoir, on constate, par expérience, que la région occupée par les ions positifs s'éloigne de la cathode lorsqu'on diminue la pression du gaz (ce qui diminue les probabilités des chocs qui tendent à arrêter les ions) ou lorsqu'on augmente l'intensité du champ (ce qui a pour conséquence une plus grande vitesse de translation). On en tire cette conclusion pratique qu'il faut rester entre certaines limites, pour les valeurs de la pression du gaz et de l'intensité du champ, si l'on veut observer ces divers phénomènes dans un tube de dimensions données.

Toutefois l'explication que je viens d'esquisser n'est pas encore complète, car on ne comprendra pas bien peut-être comment il puisse y avoir en même temps dans le tube les mouvements de translation des ions positifs libres, qui vont former dans une certaine région l'anode virtuelle, et des électrons libres qui arrivent jusqu'à l'extrémité du tube, et aussi le phénomène complexe qui apparaît comme lumière rose positive et que le petit aimant déforme comme si cette colonne était un courant électrique flexible. Mais on fait disparaître cette difficulté si l'on réfléchit que la production des rayons magnétiques rend plus lente la transmission de l'électricité dans le gaz, et si l'on cherche à se rendre compte des conséquences qui en découlent.

Si un certain nombre des électrons repoussés par la cathode s'unit à des ions positifs, qui sans cela seraient attirés par la cathode, l'intensité du courant s'affaiblira. En outre, les systèmes doubles tournants sont vraisemblablement moins efficaces que les simples électrons, pour ioniser le gaz dans la deuxième couche négative, d'où

une diminution dans le nombre des ions positifs qui y prennent naissance, ce qui constitue aussi une cause d'affaiblissement du courant. On doit donc admettre que, lorsqu'on excite le champ magnétique, on fait naître un certain obstacle ou une certaine résistance au passage de la décharge. Une conséquence immédiate de ce fait est une élévation de la différence de potentiel aux électrodes du tube, ou de la chute cathodique.

Mais rappelons-nous qu'un champ électrique intense tend à détruire les couples tournants. Donc l'augmentation de la chute de potentiel près de la cathode aura pour effet de diminuer la production ou la persistance des rayons magnétiques, ce qui donnera lieu à un certain moment à la neutralisation rapide des charges qui, pendant un certain temps, s'étaient accumulées sur les électrodes. En conclusion, même si l'on admet (ce qui est loin d'être démontré) que la décharge dans le tube est un phénomène continu ou un vrai courant constant lorsque le champ magnétique n'existe pas, elle est certainement discontinue, et constitue un phénomène périodique ou intermittent, lorsqu'elle se produit dans le champ.

Ainsi le mouvement de translation des ions positifs et des électrons séparés les uns des autres lors de la destruction de systèmes tournants parvenus où le champ est assez affaibli, et le double courant électrique qui constitue la colonne de lumière rose, doivent être considérés comme des phénomènes non pas continus, mais intermittents, et probablement alternant entre eux, ce qui lève toute difficulté à l'explication précédente.

Ce que je viens de vous dire pourrait sembler arbitraire, et se réduire à une justification plus ou moins ingénieuse, si je n'étais à même d'en donner quelques confirmations expérimentales.

Voici en effet ce que j'ai constaté en observant l'image de la décharge dans un grand miroir qui tournait en raison d'une dizaine de révolutions par seconde autour d'un axe parallèle au tube. Lorsque le champ magnétique n'existe pas, la décharge apparaît continue, peut-être à cause de la faible vitesse angulaire du miroir, que, vu ses dimensions, je ne pouvais augmenter. Mais, après avoir excité le champ, j'ai observé une intermittence très marquée du phénomène lumineux. En effet, la lumière bleu violet vue dans le miroir tournant apparaît alors transformée en une série de faisceaux lumineux régulièrement espacés, séparés par des plages obscures dont la largeur croît avec l'intensité du champ. De son côté la colonne rose apparaît

elle aussi intermittente et de même période; mais, à cause de son intensité relativement faible, on ne peut pas décider si son apparition et sa disparition ont lieu en même temps que celles des rayons magnétiques, ou bien avec un certain retard. En tout cas, le fait prévu d'une intermittence dans l'émission des rayons magnétiques est nettement confirmé par l'expérience.

Il en est de même de l'augmentation de la différence de potentiel aux électrodes que doit produire le champ magnétique, car on peut la mettre en évidence par un voltmètre électrostatique.

Ce dernier résultat est opposé à celui obtenu par M. Villard, qui a constaté, au contraire, une diminution du potentiel de décharge due au champ magnétique. Mais il n'y a pas de contradiction réelle, car j'ai vérifié que l'on obtient ce dernier résultat si l'on place l'anode non plus dans une branche latérale du tube située près de la cathode, mais à l'extrémité du tube, de manière que les rayons magnétiques marchent vers l'anode au lieu de s'en éloigner.

Je n'entends pas abuser de votre patience en décrivant en détail d'autres expériences sur ce sujet, déjà faites ou en cours d'exécution. Je me contenterai de vous donner un simple aperçu des principales d'entre elles.

Si l'on dispose l'appareil de manière que les rayons choquent un corps solide, métal, verre, etc., ils restent détruits complètement; mais ils se reforment partiellement si la destruction a lieu assez près de l'électro-aimant, c'est-à-dire dans une place où le champ a une intensité suffisante.

Si cette condition n'est pas satisfaite, il peut se faire que les ions positifs et les électrons restés libres, emportés par leurs vitesses, arrivent dans une région éloignée où il y a encore un champ magnétique de grande intensité; alors de nouveaux rayons magnétiques prennent naissance, même si le deuxième champ est de sens contraire du premier. C'est ce que l'on observe en plaçant un deuxième grand électro-aimant près de l'extrémité du tube la plus éloignée de la cathode, et en l'excitant de manière que son pôle tourné vers le tube soit de même nom que celui qui se trouve près de la cathode. Il est évident que, si l'on parcourt le tube dans toute sa longueur, on trouve alors, d'abord un champ très puissant près de la cathode, dont l'intensité décroît jusqu'à zéro en s'éloignant. Plus loin encore le champ change de sens, et croît d'intensité jusqu'au bout du tube. Dans ces conditions, on voit des rayons magné-

tiques près du deuxième électro-aimant, et leurs déplacements produits par l'action d'un faible pôle approché latéralement montrent que leur sens de gyration est opposé à celui des rayons magnétiques plus intenses, que l'on voit en même temps près de la cathode. Ceux-là sont formés, pour ainsi dire, avec les débris de ces derniers.

En disposant les expériences d'une manière convenable, et surtout en employant une cathode de très petite surface libre, tous ces rayons magnétiques peuvent être accompagnés par une espèce d'hélice lumineuse, comme dans l'expérience de Hittorf.

Je citerai enfin une dernière observation, qui me paraît avoir quelque valeur. J'ai vu souvent une faible lumière jaune orangé sur le verre, lorsque des rayons magnétiques se brisent à sa surface, et j'ai reconnu que cette espèce de fluorescence jaune, qui est plus visible lorsqu'on touche la paroi extérieurement avec le doigt, devient parfaitement visible si l'appareil contient de l'oxygène au lieu d'air. Or on sait que les rayons-canaux produisent sur le verre une semblable fluorescence jaune, qui devient particulièrement intense dans l'oxygène. Ainsi on est tenté de supposer que la lumière jaune dans mes expériences est due aux ions positifs provenant de la rupture des rayons magnétiques.

Le dernier cas examiné, celui de la rencontre entre un électron et un ion positif, m'a conduit à une hypothèse qui permet de donner une explication satisfaisante de certains phénomènes, et des expériences nouvelles, suggérées par elle, lui semblent favorables ; mais l'hypothèse est encore loin d'être démontrée.

Ayant voulu vous montrer avec sincérité l'enchaînement d'idées qui m'a guidé dans une recherche dont la plus grande difficulté consiste en ce qu'on ne peut d'aucune manière s'aider d'une théorie mathématique, j'ai employé ce ton de conviction enthousiaste qu'inspire la foi dans le succès, foi que tout expérimentateur doit s'efforcer de conserver toujours pour en être soutenu dans la lutte contre les difficultés qui surgissent à tout moment. Mais, lorsqu'une expérience est accomplie, il faut en discuter le résultat avec une critique sévère, se débarrasser de toute idée préconçue, et être à tout moment disposé à abandonner les conceptions auxquelles on s'est attaché, dès que les faits s'y opposent. Dans le cas actuel, il me semble que, bien que les expériences décrites s'accordent avec

l'hypothèse proposée, il faudra attendre des preuves plus nombreuses avant de décider définitivement si on doit l'accepter ou la rejeter.

Je tenais à vous montrer en action une méthode scientifique qui, autrefois, peut-être avec trop de sévérité, a été critiquée par quelques hommes de science, et qui consiste dans l'intervention de l'imagination pour chercher d'abord à deviner, sur la base d'intuitions ou d'analogies, la cause ou la nature de certains phénomènes, suivie par l'institution d'expériences, qui permettent de décider si l'on doit conserver ou écarter les conceptions hypothétiques qu'on s'est formées, et par lesquelles on a été guidé dans la recherche. A part que souvent, de cette manière, on rencontre des faits intéressants qu'on ne cherchait pas, il faut reconnaître que cette méthode a conduit à de nombreux succès. La découverte de la nature probable des rayons cathodiques en offre un exemple, et il en est de même de la théorie de la désagrégation atomique des corps radioactifs, qui a permis de réaliser de si grands progrès dans cette branche nouvelle de la physique qui, ayant eu son origine dans les découvertes mémorables de Becquerel et des Curie, est une des gloires de la physique française. J'ai à peine besoin de vous déclarer, au moment où je vais me séparer de vous, que toute prétention d'établir une comparaison entre ma modeste recherche et celles, d'importance capitale, que je viens de rappeler, est tout à fait absente de mon esprit.

REMARQUES SUR UNE COMMUNICATION RÉCENTE DE M. A. RIGHI;

Par M. G. SAGNAC ⁽¹⁾.

Dans la belle conférence que M. A. Righi a faite devant la Société française de Physique pendant la dernière exposition de Pâques, se trouvent rappelées, en particulier, les expériences « sur l'ionisation de l'air produite par une pointe électrisée », que le professeur Righi a publiées en 1903 (*R. Accad. d. Sc. d. Istituto di Bologna*, 5^e série, t. X, p. 371) et dans lesquelles des ions lancés par un premier champ électrique, qu'une toile métallique sépare électrostatiquement,

(1) Séance du 15 mai 1908.

quement d'un second champ, quittent les lignes de force du premier champ et traversent les mailles de la toile pour entrer dans le second champ. M. A. Righi compare ce phénomène de projection d'ions à travers de petites ouvertures au phénomène des rayons-canaux.

Comme il est toujours utile de rapprocher les faits analogues, je me permets de rappeler que j'ai observé aussi des projections d'ions.

Je les ai obtenues avec les ions produits dans l'air par les rayons X (Académie des Sciences, pli cacheté déposé le 18 juillet 1898, publié le 5 février 1900 dans les *Comptes Rendus de l'Académie*, reproduit dans le *Bulletin de la Société de Physique* de 1901, dans les *Annales de Chimie et de Physique* de 1901 et dans le volume sur les ions publié par MM. Abraham et Langevin, p. 701-703).

J'ai remarqué que ces projections d'ions créées dans l'air à la pression atmosphérique constituent des *rayons cathodiques ou anodiques* beaucoup plus diffusables que les rayons de Lenard. Je crois la comparaison avec les rayons cathodiques ou anodiques préférable à la comparaison avec les rayons-canaux, parce que les ions qui forment les projections étudiées sont à volonté positifs ou négatifs.

J'ai, d'autre part, fait rentrer ces phénomènes de projections d'ions dans une classification de divers modes de décharge ou de variations de charge électrique d'un conducteur (Congrès de la Radiologie et de l'ionisation de Liège, *C. R.*, 1903, p. 164; communication reproduite dans *Physikalische Zeitschrift*, 7^e année, p. 50).

Il convient, je pense, de rapprocher des mêmes phénomènes les observations de M. P. Villard sur la décharge indirecte par les flammes (*Comptes Rendus de l'Acad. d. Sc.* du 13 janvier 1900).

SUR LA LUMIÈRE POSITIVE ET LE PASSAGE DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LES GAZ ⁽¹⁾ ;

Par M. P. VILLARD.

On admet volontiers que le passage de l'électricité dans un gaz se fait exclusivement par le double phénomène de l'ionisation de ce gaz et de la recombinaison des ions mis en liberté. Dans cette dissociation moléculaire, les corpuscules cathodiques jouent un rôle essentiel : les vitesses considérables qu'ils acquièrent dès qu'un champ est établi dans le gaz leur permettent d'ioniser un grand nombre de molécules, d'en détacher de nouveaux corpuscules qui, sans avoir besoin de partir de la cathode, peuvent jouer le même rôle que les premiers ; les ions positifs, constitués par toutes les molécules privées d'un corpuscule négatif, prennent également, sous l'action de la force électrique, une vitesse qui leur permet, si cette force est suffisante, d'ioniser également de nouvelles molécules. Une rapide multiplication des charges libres se produit ainsi, et le courant de convection qu'elles déterminent acquiert en un temps très court une intensité considérable. D'après cette manière de voir, la lumière émise par le gaz résulte nécessairement soit de la dissociation des molécules, soit de la recombinaison des ions libérés.

Cette conclusion paraît cependant être en désaccord avec un certain nombre de faits : Ainsi le voisinage d'un corps radioactif, cause certaine d'ionisation, facilite bien le passage de l'étincelle entre les boules d'un excitateur, mais, en approchant davantage, éteint cette même étincelle, le courant, facile à déceler au galvanomètre, continuant d'ailleurs à passer. D'après la théorie précédente, il semblerait qu'en exagérant l'ionisation l'on doit augmenter le débit et l'éclat de l'étincelle : on voit que c'est l'inverse qui a lieu.

On peut citer plusieurs faits analogues : un tube de Geissler dont on chauffe fortement une région cesse d'être lumineux dans cette région ; un fil incandescent placé dans ce tube crée autour de lui un espace obscur : or on sait qu'un corps incandescent émet des ions en quantité considérable : sa présence devrait donc exagérer la luminescence du gaz.

Les rayons de Lenard constituent, sans doute possible, un puissant agent d'ionisation ; or ils éteignent une étincelle électrique comme

(¹) Conférence faite le 4 avril 1907.

le fait un corps radioactif. C'est également par suite de l'action ionisante des rayons cathodiques qu'un tube de Crookes semble parfaitement vide : aucune lumière anodique n'y apparaît, sauf si l'anode est abritée contre les rayons issus de la cathode : la luminescence est totalement supprimée dans l'espace traversé par les corpuscules cathodiques dont le pouvoir ionisant est précisément invoqué pour expliquer la lumière de la décharge. Ce n'est pas l'insuffisance du nombre des molécules qui est la cause de l'obscurité, car il suffit de modifier très peu les conditions de la décharge pour que l'ampoule se remplisse d'une lumière intense ⁽¹⁾ ; on fait également apparaître la lumière anodique ou positive en déviant les rayons cathodiques avec un aimant, c'est-à-dire en les supprimant dans toute une région de l'ampoule.

Dans la phosphorescence de l'oxygène mélangé de beaucoup d'azote (50 à 80 0/0 d'azote), non seulement la production de lumière se fait sans ionisation, car un champ électrique ou magnétique est sans action sur l'établissement et la propagation si singulière de cette phosphorescence, mais la présence d'une cathode en activité fait immédiatement cesser la phosphorescence.

Enfin, les rayons découverts par M. J.-J. Thomson, et qui émanent d'une cathode exactement comme les rayons cathodiques, possèdent la remarquable propriété de ne produire aucune lumière dans l'oxygène pur que les rayons cathodiques illuminent, au contraire, très brillamment.

Ces rayons, qui transportent, comme je l'ai montré, des charges positives, ne se voient que si l'oxygène contient un peu d'hydrogène et n'illuminent que ce dernier gaz.

Il semble résulter de ces faits que, loin d'être une cause de production de lumière, l'ionisation ait plutôt pour effet de rendre la décharge obscure. Dans le cas où des particules chargées produisent de la lumière sur leur trajet (gaine négative), on vient de voir que le signe de leur charge n'est pas indifférent, ce dont ne peut évidemment rendre compte l'hypothèse de l'ionisation par simple choc.

En dehors de ces difficultés qu'elle rencontre indirectement, la théorie précédente conduit à des conséquences immédiates qu'on

⁽¹⁾ Le refoulement du gaz par les rayons cathodiques ne saurait être admis, car le résultat est le même quand on prend un tube cylindrique droit avec des électrodes placées aux deux bouts. Le gaz devrait alors s'accumuler vers l'anode et la luminosité y serait très vive. Or on n'observe rien de semblable.

peut aisément soumettre au contrôle de l'expérience : le rôle fondamental qu'elle fait jouer à l'émission cathodique oblige à admettre qu'aux fortes pressions (au-dessus de 1 millimètre de mercure) pour lesquelles les rayons cathodiques, peu rapides, sont complètement absorbés au voisinage immédiat de la cathode, la lumière doit apparaître en premier lieu à la cathode, et dans la gaine négative qui constitue le premier phénomène visible produit par les rayons cathodiques. La lumière positive ne doit commencer qu'ensuite, et son apparition doit se faire progressivement dans le sens cathode-anode, suivant ainsi la marche du processus d'ionisation commencé à la cathode.

En second lieu, la gaine négative ne saurait être absente d'une décharge électrique, puisqu'elle en marque le début.

On verra dans cet exposé que la luminescence du gaz progresse au contraire dans le sens anode-cathode⁽¹⁾, avec une vitesse n'ayant aucun rapport avec le champ, et pouvant devenir presque infinie pendant que celui-ci tombe presque à zéro ; on verra également que la gaine négative peut manquer totalement et que cette suppression caractérise précisément les décharges intenses.

L'émission cathodique, loin d'aider à la formation de l'étincelle, en générerait donc plutôt le passage.

En présence de cette insuffisance manifeste des théories admises, j'ai entrepris une série d'expériences faites dans des conditions aussi différentes que possible de celles qu'on adopte habituellement. Aucune raison n'obligeant à choisir, pour expliquer l'étincelle ou l'arc, des pressions très faibles, j'ai le plus souvent opéré entre 1 centimètre de mercure et la pression ordinaire. Dans ces conditions, la lumière ou gaine négative a une faible épaisseur et la partie prédominante de la décharge est la colonne positive. A ces fortes pressions cette colonne présente des contours suffisamment définis et surtout ne remplit pas les ampoules. Il suffit alors de prendre des tubes très larges, ou des ballons, pour obtenir des résultats indépendants de l'influence des parois. J'ai également utilisé des courants beaucoup plus intenses qu'on ne le fait ordinairement, et le plus souvent compris entre 0^{amp},01 et 0^{amp},2.

La source employée était en général une bobine d'induction

(1) Ce phénomène a été déjà signalé par M. J.-J. Thomson (*Experim. Researches*) et par M. E. Wiedemann (*Wied. Ann.*, t. LXVI).

montée en transformateur. Les mesures de voltage et d'intensité peuvent ainsi être faites avec une approximation souvent suffisante, et le débit peut être à la fois notable et régulier. Exceptionnellement j'ai utilisé des accumulateurs ; le plus souvent j'ai réalisé une source continue de faible durée avec un condensateur de 1 à 2 microfarads chargé à 2000 ou 3000 volts par le transformateur muni d'une soupape, et déchargé dans les ampoules au travers d'une résistance ou d'une bobine de réaction, ou même directement. On peut ainsi obtenir une décharge dont on règle à volonté la durée, et on arrive même à l'établissement d'un régime permanent qu'il serait sans intérêt de prolonger.

Les expériences ont été faites presque sans exception dans l'air à diverses pressions.

LES DEUX FORMES DE LA DÉCHARGE.

Précurseurs de la décharge. — Soit par exemple un large tube (5 centimètres) de 80 à 90 centimètres de longueur, contenant de l'air raréfié à 15 millimètres environ et relié au transformateur. Vers 6000 à 8000 volts (efficaces), des lueurs apparaissent, des aigrettes sinueuses courent sur les parois. A 10000 volts, ces décharges se régularisent : des stratifications très nettes se dessinent et occupent toute la section du tube ; il y a une faible gaine négative ; mais la lumière émise est à peine visible et le courant n'atteint pas un millième d'ampère moyen ; cette intensité est limitée par le tube lui-même et non par les résistances extérieures ; elle ne tend pas à croître spontanément. L'aspect est celui d'un tube dont le gaz est fortement raréfié. A 12000 volts, la décharge se constitue réellement et présente les caractères qui correspondent à la pression de 15 millimètres. Son apparition est brusque et l'intensité s'élève instantanément à un dixième d'ampère environ ; le voltage tombe à 7000 volts. Ce sont maintenant les résistances extérieures qui limitent l'intensité.

Phénomène de Geissler. — La décharge une fois constituée, on observe les aspects bien connus (gaine négative et couche lumineuse en contact avec la cathode, espace de Faraday et lumière positive). Aux fortes pressions (1 centimètre de mercure et au-dessus), la gaine négative est insignifiante et son rôle n'est pas prépondérant. La colonne positive n'occupe que la région axiale du tube, et son

diamètre est de 10 à 20 millimètres, suivant l'intensité du courant ; il augmente avec la raréfaction.

Dans ces conditions, la lumière positive s'allonge toujours lorsqu'on fait croître l'intensité ⁽¹⁾, et cela dans des proportions énormes.

Ainsi, dans un ballon (pour éviter l'influence des parois), la distance des électrodes étant de 10 à 11 centimètres, et la pression de l'air 15 millimètres, la longueur de la lumière positive varie de quelques millimètres à près de 10 centimètres, quand l'intensité (valeur moyenne) passe de $0^{\text{amp}},001$ à $0^{\text{amp}},05$ ⁽²⁾ ; sa section augmente en même temps.

L'allongement et l'accroissement de section de la lumière positive s'accompagnent d'une diminution notable de la différence de potentiel aux bornes. Dans le ballon précédent, par exemple, et en laissant passer les deux alternances du courant pour que les indications du voltmètre électrostatique aient un sens défini, le voltage s'abaisse de 1 100 volts efficaces à 800 volts quand le courant s'élève de quelques millièmes à quelques centièmes d'ampère. Avec des accumulateurs, le résultat est analogue et les indications fournies par les instruments de mesure sont alors tout à fait exactes.

L'ampoule présente ainsi, aux fortes pressions, une sorte de résistance négative : la chute de tension aux électrodes diminue quand le courant augmente, et le régime ne peut être stable avec une source à potentiel constant, à moins de mettre en circuit une résistance donnant lieu à une chute de tension croissant avec le courant. L'emploi de cette résistance est inutile quand la source est une bobine montée en transformateur, la résistance (ohmique et inductive) de cet appareil étant considérable. On constate alors simplement que le voltage aux bornes varie en sens inverse de l'intensité.

Aux basses pressions, vers $0^{\text{mm}},1$ par exemple, les choses se passent tout autrement : la lumière négative est très développée, entoure généralement toute la cathode ; la chute cathodique cesse d'être invariable pour croître avec le courant, et ce phénomène qui, précédemment, n'intervenait pas, régit maintenant presque à lui seul les

(1) Soit en réduisant les résistances extérieures, soit en augmentant la force électromotrice de la source, si cette source présente une résistance considérable.

(2) Indications données par un ampèremètre à cadre mobile et à shunt. Comme le courant ne passe que pendant une alternance sur deux, le courant réel est au moins double de celui indiqué ici.

variations du voltage. Dans ces conditions, le régime est stable même en l'absence de résistances extérieures, car le courant ne peut augmenter que si le voltage s'élève.

La lumière positive, ou colonne anodique, tend toujours à se centrer sur l'axe du tube, même si les électrodes sont décentrées. La répulsion exercée par les parois est assez forte pour masquer complètement l'effet d'entraînement produit par l'air chaud, tant que la pression ne dépasse pas 13 millimètres de mercure.

Décharge disruptive. — Arc. — Supposons une ampoule à rayons cathodiques reliée à une forte bouteille de Leyde qu'on peut charger progressivement par une source quelconque; en prenant par exemple les résultats obtenus dans un cas particulier choisi au hasard, on aura un commencement d'émission cathodique à 6 000 volts (différence de potentiel vraie, la source qui alimente l'ampoule étant continue): si on élève le voltage aux bornes de la bouteille, l'émission devient plus intense; mais, entre 6 000 et 12 000 volts, elle présente toujours ce caractère que le régime est stable et que le courant, extrêmement faible, ne peut augmenter que si la différence de potentiel augmente. Si on abandonne à eux-mêmes l'ampoule et la bouteille, en cessant de fournir de l'électricité à celle-ci, l'émission cathodique continue pendant un certain temps (trente secondes par exemple), s'affaiblit de plus en plus et s'arrête quand le voltage est revenu à 6 000 volts environ. La bouteille de Leyde reste ainsi chargée, l'ampoule n'a fait disparaître que l'excès de charge au-dessus de 6 000 volts. Mais, si on atteint 12 000 volts, il en est tout autrement: une brillante luminescence apparaît entre l'anode et la cathode, l'ampoule, qui précédemment semblait vide et dont les parois fluorescentes seules émettaient de la lumière, se remplit instantanément de luminosité; en même temps se produit un bruit sec assez fort. Ce phénomène ne dure qu'un temps à peine appréciable et la bouteille de Leyde est aussitôt complètement déchargée. Cette étincelle réellement disruptive a donc joué le rôle d'un véritable court-circuit, et le courant instantané ainsi produit est suffisant pour donner une impulsion notable à l'aiguille d'un ampèremètre thermique de 0^{amp},1 ou 0^{amp},2.

L'aspect est en outre entièrement différent de celui qu'on observe d'ordinaire. Il n'y a plus d'émission cathodique, la polarité disparaît et la décharge devient symétrique; aux deux électrodes apparaissent des aigrettes brillantes, colorées par des vapeurs métalliques, et un arc pâle, déviable à l'aimant, réunit ces aigrettes. Il est remar-

quable que celles-ci ne se forment pas aux points d'où seraient partis des rayons cathodiques.

Le même phénomène s'obtient à toutes les pressions : on peut par exemple charger un microfarad relié par une clef Morse à deux électrodes disposées, à 10 centimètres de distance, dans un ballon rempli d'air à 15 millimètres. Jusqu'à 2 000 volts, la manœuvre de la clef ne donne que la décharge de Geissler dont le débit est faible et la durée très sensible, et le voltage du condensateur ne tombe pas à zéro ; à 2 500 volts et au-dessus⁽¹⁾, c'est une véritable étincelle qui se produit, accompagnée d'un bruit sec. Un trait de feu, entouré d'une auréole, sans polarité apparente, réunit les deux électrodes et se termine sur chacune d'elles par une forte sigrette colorée à peu près sphérique ; la gaine négative et l'espace de Faraday ont disparu. Cette étincelle, de durée inappréciable, décharge entièrement le condensateur et produit dans le circuit des effets inductifs intenses. Le courant instantané prend une valeur considérable et porte facilement à l'incandescence un fil métallique fin⁽²⁾. Si la distance des électrodes n'est pas trop grande (5 à 6 centimètres pour une pression de 15 millimètres), le passage du phénomène de Geissler à la décharge symétrique sans gaine négative se fait même sans clef Morse, en élevant simplement le débit de la source qui charge le condensateur (transformateur avec soupape), la clef Morse étant supprimée. On obtient ainsi une série d'étincelles bruyantes, se succédant à des intervalles réguliers qui représentent la durée de charge du condensateur. A chacune de ces étincelles l'aiguille d'un voltmètre statique relié à l'ampoule subit une chute brusque, tandis qu'elle demeure fixe si on maintient la forme ordinaire de décharge.

On facilite beaucoup le passage d'une forme à l'autre en faisant intervenir un champ magnétique transversal.

Dans ces expériences, quand l'étincelle disruptive est précédée par

(1) On verra plus loin que l'élévation du voltage n'est pas directement cause de la transformation de la décharge : elle ne sert qu'à permettre au courant de prendre rapidement une forte intensité.

(2) Si on remplace ce fil par une petite lampe à incandescence à filament droit de quelques centimètres de longueur, on observe un phénomène très singulier : la décharge passe, non par le fil, mais par le gaz. L'introduction d'une résistance inductive faible (moins d'un millième de henry) supprime la luminescence du gaz, mais le courant ne passe que par la surface du filament et produit une lumière jaunâtre instantanée. Ralentissant encore la décharge, le filament est enfin porté à l'incandescence.

le phénomène de Geissler, le trait de feu évite la gaine négative et aboutit sur la cathode à l'endroit où cette gaine cesse d'exister. Cela résulte de l'incompatibilité de la lumière positive et de la lumière négative, et c'est pour la même raison qu'au vide de Crookes la décharge en arc n'aboutit jamais au point de la cathode qui émet des rayons cathodiques (centre). L'action du champ magnétique s'explique par la déviation qu'il imprime à ces rayons, leur absence facilitant l'allongement de la lumière positive et son arrivée à la cathode.

On ne modifie pas beaucoup l'aspect général de cette décharge en intercalant dans le circuit une bobine de self-induction même importante : le trait de feu et l'auréole cylindrique qui l'enveloppait se mélangent simplement pour former une colonne lumineuse homogène et la hauteur du bruit baisse à mesure que l'impédance augmente. On peut ainsi augmenter dans des proportions énormes la durée de la décharge en la faisant passer dans un enroulement de transformateur à noyau de fer de 1 henry, ce qui, pour 1 microfarad, abaisse la fréquence à 160. Si la bobine de self-induction est le primaire d'une bobine de Ruhmkorff, le secondaire de celle-ci donne d'aussi belles étincelles qu'avec le montage ordinaire.

L'intercalation d'une résistance produit un autre effet : l'intensité peut être considérablement réduite et la durée de la décharge augmente alors beaucoup. La polarité apparaît progressivement à mesure que la résistance augmente, et bientôt le trait de feu cesse d'atteindre la cathode. La gaine négative se montre à nouveau et on est revenu au phénomène de Geissler. Il en serait certainement de même avec une self-induction suffisamment forte, produisant une résistance apparente de quelques milliers d'ohms. On voit ainsi que l'étincelle disruptive n'est pas autre chose que la décharge réduite à la colonne anodique ou lumière positive.

Les *fig. 2* et *3* représentent quelques décharges obtenues dans ces conditions. La *fig. 1* indique le montage de l'expérience.

La *fig. 3*, correspondant à une distance d'électrodes mieux appropriée au voltage disponible, montre nettement la suppression de la gaine négative lors de l'établissement de l'arc.

Il est facile de s'assurer que la forme disruptive de la décharge est identique à l'arc électrique : il suffit de remplacer le condensateur par une batterie d'accumulateurs dont la capacité est pour ainsi dire infinie ; 500 volts suffisent si la distance des électrodes est réduite

à 15 millimètres environ⁽¹⁾. Un rhéostat convenable règle l'intensité. Dans ces conditions, jusqu'à $0^{\text{amp}},15$, on a la décharge ordinaire, avec gaine négative de plus en plus intense; le voltage aux électrodes diminue à mesure que l'intensité augmente, mais reste voisin de 400 volts, c'est-à-dire supérieur à la chute cathodique; quand le courant atteint $0^{\text{amp}},15$, l'espace de Faraday et la gaine négative disparaissent instantanément, et le courant prend sensiblement la même valeur que si l'ampoule était mise en court-circuit ($1^{\text{amp}},5$ dans cette expérience). Le voltage aux électrodes est insignifiant, la chute cathodique a disparu avec la gaine négative, et l'aspect est exactement celui de l'arc électrique ordinaire.

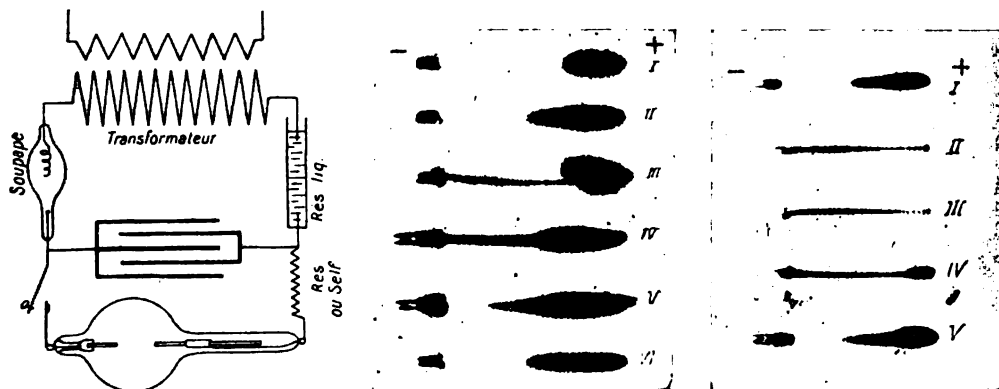


FIG. 1, 2 et 3.

Fig. 1. — Montage de l'expérience. — Condensateur de 1 à 2 microfarads relié à un voltmètre statique (non figuré); ballon de 15 centimètres de diamètre; électrodes d'aluminium de $2^{\text{mm}},5$, dont l'une mobile dans une coulisse (soutenue par un tube de verre non figuré); pression, 15 millimètres.

Fig. 2. — Distance des électrodes, 10 centimètres. — I, II, III et IV, décharges sans résistance ni self: voltages de charge croissant de 2 000 à 3 000 volts. — V et VI, décharges à 3 000 volts avec résistances de 3 000 et 5 000 ohms en série.

Fig. 3. — Distance des électrodes, 7 centimètres. — I, 2 000 volts sans résistance. — II et III, 3 000 volts sans résistance; disparition totale de la gaine négative. — IV, 3 000 volts avec résistance de 200 ohms. — V, 3 000 volts et 5 000 ohms; réapparition de la gaine négative.

Ce qu'on observait avec le condensateur relié d'une manière permanente à l'ampoule ne différait de ce qui précède que par l'absence de durée de l'arc. Le phénomène est donc bien le même dans les deux cas.

⁽¹⁾ Avec ce faible voltage on est toutefois obligé d'amorcer la décharge en intercalant dans le circuit le secondaire d'un transformateur qu'on met en activité pendant une ou deux secondes; on met ensuite en court-circuit ce secondaire, ce qui le supprime sans interrompre aucune communication.

Dans ces expériences faites à de fortes pressions, le voltage aux électrodes diminue à mesure qu'on approche du passage de la première forme de décharge à la seconde. Au vide de Crookes, l'inverse avait lieu. Mais, dans l'un et l'autre cas, c'est toujours par accroissement de l'intensité qu'on obtient l'étincelle disruptive ou l'arc. Il est donc naturel d'admettre que c'est de cette intensité que dépend la transformation ; quant au voltage, il monte ou descend suivant les lois indiquées au commencement de ce chapitre.

Ainsi l'étincelle disruptive oscillante et l'arc électrique sont des décharges réduites à la lumière positive réunissant les deux électrodes, et dont la résistance varie en sens inverse de l'intensité. L'absence de chute cathodique, précisément caractéristique de l'arc, est commune aux deux phénomènes et s'explique par la suppression de la gaine négative.

La décharge qu'on observe dans un tube sans électrodes est en général réduite à la lumière positive, c'est un arc. Cette absence de différenciation est très facile à observer avec la vapeur d'iode, qui donne deux spectres très différents pour la lumière positive et la lumière négative.

LES RAYONS CATHODIQUES ET L'ESPACE OBSCUR DE FARADAY.

L'étude des deux formes de la décharge semble montrer que la gaine négative empêche la lumière positive d'atteindre la cathode. Cela paraît presque évident quand on voit la lumière positive contourner la gaine pour atteindre les régions nues de la cathode en allongeant son trajet de 1 ou 2 centimètres. On est ainsi conduit à considérer l'émission cathodique et l'ionisation qu'elle détermine dans le gaz comme un obstacle à la formation de la colonne anodique. L'espace obscur de Faraday s'explique alors sans difficulté : il résulte de ce que la lumière positive est supprimée dans toute la région intéressée par les rayons cathodiques. Cet espace doit en conséquence augmenter d'étendue avec la raréfaction et se raccourcir si on écarte, avec un aimant, les rayons cathodiques : or c'est en effet ce qu'on observe.

Si, aux fortes pressions, on augmente l'intensité du courant, la gaine négative s'étend de plus en plus, mais l'émission cathodique par unité de surface varie peu, la chute cathodique reste constante. le pouvoir pénétrant des rayons et leur nombre dans la direction de

l'anode demeurent invariables ; la chaîne anodique, devenue plus intense, peut lutter avantageusement contre la destruction par le choc des corpuscules, et elle s'allonge, réduisant ainsi l'étendue de l'espace de Faraday ; quand celui-ci est supprimé, l'arc s'établit.

Aux basses pressions, la chute cathodique croît avec le courant, le pouvoir pénétrant des rayons augmente et la lumière positive rétrograde vers l'anode. L'établissement de l'arc est alors moins facile à comprendre, à moins d'admettre qu'à la faveur de la discontinuité de l'émission cathodique il n'ait le temps de se former entre deux trains de corpuscules. Quoi qu'il en soit, cet arc n'atteint jamais la cathode aux points d'où on voit partir des rayons cathodiques.

On peut vérifier directement que les corpuscules cathodiques suppriment la lumière positive partout où ils la rencontrent : il suffit de disposer les choses comme l'indique la *fig. 4*. Les électrodes A

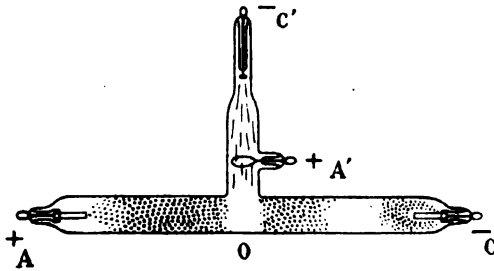


FIG. 4.

et C sont reliées à une première source (transformateur) ; les électrodes A' et C' reçoivent le courant d'un autre transformateur ou d'une bobine à trembleur synchrone. La cathode C' est placée dans un tube étroit, de manière à donner des rayons énergiques même à une pression relativement forte. Le courant étant établi entre A et C, dès que C' entre en activité, un espace obscur apparaît en O. Si on approche un aimant du faisceau émis par C', cet espace se comble immédiatement.

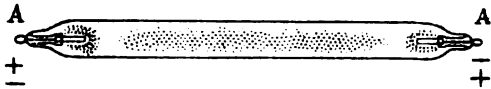


FIG. 5.

On peut réaliser l'expérience autrement : un tube droit AA' (*fig. 5*),

est alimenté par une source alternative, sans soupape. Par suite de l'échange des polarités des électrodes, l'espace de Faraday correspondant aux alternances paires devrait paraître rempli par la colonne anodique des alternances impaires, l'effet de superposition ne pouvant disparaître que si l'on fait usage d'un miroir tournant. Or, pour une pression convenable, on voit au contraire deux espaces de Faraday parfaitement obscurs, et il n'y a de lumière positive que dans la région médiane du tube.

L'explication est immédiate. Près de chaque électrode, l'émission cathodique produit alternativement une ionisation intense qui subsiste quelque temps. Il suffit que ce temps soit supérieur à une demi-période pour empêcher la formation de la lumière positive. En abaissant la pression, les ions se diffusent plus vite et le phénomène disparaît. Si on approche un aimant, on dévie les rayons cathodiques et l'espace obscur se comble aussitôt.

Ainsi, dans l'espace de Faraday et la région circumcathodique, le courant passe uniquement par convection (bombardement et ionisation) comme entre deux plateaux dans l'air soumis aux rayons X ; dans la lumière positive, le transport de l'électricité serait analogue à la conduction. On peut donc comparer un tube de Geissler à une résistance métallique en série avec un appareil à grêle de Volta. L'établissement de l'arc consisterait à supprimer l'appareil à grêle et à réunir directement les électrodes par un conducteur, d'où la possibilité d'obtenir des oscillations.

DÉVIATION MAGNÉTIQUE DE LA LUMIÈRE POSITIVE.

Considérons un large tube contenant de l'air assez peu raréfié (pression supérieure à 1 centimètre) pour que la lumière positive n'occupe que la région axiale et offre l'aspect d'un cordon lumineux de la grosseur d'un crayon. L'apparence rectiligne de ce cordon, contrastant avec la forme d'arc qu'on obtient dans un vaste ballon, nous apprend que les parois du tube exercent sur la lumière positive une répulsion capable de compenser l'entraînement dû à l'air échauffé par la décharge ⁽¹⁾. Une autre preuve de l'existence de cette répulsion est fournie par ce fait que, si les électrodes sont hors de

(1) Si la pression est très supérieure à 1 centimètre de mercure, par exemple triple de cette valeur, l'action des courants d'air chaud devient prédominante.

l'axe du tube, la lumière positive se centre néanmoins sur cet axe. Il y a donc lieu de tenir compte de cette répulsion dans l'interprétation de tous les résultats relatifs à des déviations d'origine quelconque.

Si maintenant nous mettons le tube entre les branches d'un aimant en fer à cheval, nous obtiendrons à peu près la déformation indiquée sur la *fig. 6*. On remarque qu'au point M, où l'écart est maximum, la tangente est parallèle à la direction initiale; autrement

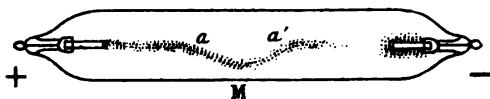


FIG. 6.

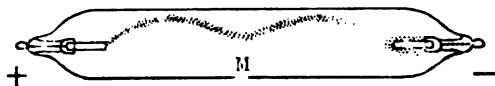


FIG. 7.

dit, la *dévi*ation est nulle au point où le champ déviant est maximum. L'hypothèse d'une convection électrique par des ions ou particules électrisées quelconques ne paraît pas susceptible d'expliquer ce simple fait : il serait surprenant que, quelles que soient la largeur du tube, la raréfaction, et la valeur du champ, la résultante de toutes ces actions soit toujours nulle exactement au point où le champ est maximum; il n'est d'ailleurs pas difficile de remplacer l'action directrice des parois par une force de nature différente ne suivant pas les mêmes lois; il suffit d'élever la pression à 5 centimètres, la convection par l'air chaud élève la lumière positive vers le haut du tube et, dans ce cas encore, l'aimant donne le même résultat (*fig. 7*). Remarquons aussi qu'en *a* et *a'* (*fig. 6*) il y a deux points d'inflexion. La courbure de la lumière positive change donc deux fois de signe dans un champ magnétique de sens constant.

Il est très facile d'expliquer ces effets en imaginant que la colonne anodique est une chaîne extensible pourvue de cohésion, tendue entre l'anode et la cathode, et se comportant comme un conducteur ordinaire. La figure d'équilibre en présence d'un aimant est alors aisée à prévoir, c'est celle d'un fil repoussé par les parois et qu'on écarterait de sa position, en un point, au moyen d'une poulie solli-

citée normalement à la direction de l'axe du tube. On aura les deux inflexions α et α' et, au point le plus dévié, la tangente sera parallèle à la direction initiale. On arrive à la même conclusion en répétant l'expérience classique de de La Rive avec un courant plus intense et plus continu que les décharges d'une bobine de Ruhmkorff ordinaire. Quelques centièmes d'ampère en courant alternatif avec soupape conviennent parfaitement; on voit alors la lumière positive s'enrouler en hélice autour du barreau de fer qui prolonge le noyau de l'électro-aimant. On obtient un enroulement tout à fait semblable et de même sens avec un fil souple parcouru par un courant et placé auprès d'un électro-aimant analogue au précédent.

Dans cette expérience, il est indispensable que l'une des extrémités du conducteur flexible soit fixe. Il suffit pour cela d'attacher une pointe à l'une des électrodes circulaires de l'œuf électrique.

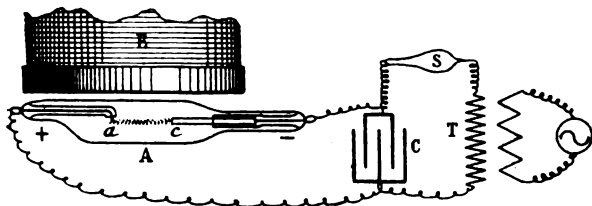


FIG. 8.

Il convient évidemment d'étudier la déviation dans un champ à peu près uniforme et de manière à obtenir un enroulement plan. L'emploi d'un ballon, de préférence plat, supprime l'influence des parois; l'anode doit être un fil perpendiculaire au plan de l'enroulement⁽¹⁾. La source électrique est soit un transformateur, soit un condensateur de 1 ou 2 microfarads; dans le premier cas, l'intensité, variable pendant toute la durée de la décharge, donne une nappe plane limitée par deux courbes; dans le second cas, le courant se maintient constant pendant presque toute sa durée, d'ailleurs très faible, et on obtient une bande lumineuse étroite préférable pour les mesures.

(¹) Si on dispose l'anode et la cathode dans le prolongement l'une de l'autre, le champ, tendant à faire embrasser le plus grand flux possible par la colonne anodique enroulée, déplace le point d'attache de celle-ci sur l'anode et le fait rétrograder jusqu'à l'endroit où l'anode est soudée à l'ampoule.

La *fig. 9* est la reproduction photographique d'une expérience de ce genre. On voit qu'il s'est produit deux décharges distinctes correspondant à ce qui a été décrit à propos de la *fig. 1*. L'étincelle disruptive est précédée d'une décharge peu intense et ne s'est établie que quand cette dernière a acquis une certaine intensité.



FIG. 9. — Enroulement de la lumière positive dans un champ de 500 unités. Distance des électrodes, 5 centimètres (décharge condensée sans gaine négative). La *fig. 8* indique le montage de l'expérience.

La forme générale de l'enroulement est celle d'une spirale. On peut démontrer qu'il en doit être sensiblement ainsi.

La colonne anodique fixée à l'anode et entourée de gaz ionisé se comporte comme un fil métallique plongé dans un milieu sensiblement conducteur ; le courant décroît d'une extrémité à l'autre par suite de la déperdition latérale. Admettons que l'intensité varie en raison inverse de la longueur de l'arc compté à partir d'une origine convenable, et supposons constante la tension mécanique du conducteur gazeux. Le champ magnétique exerce sur chaque élément de ce conducteur une action normale proportionnelle à l'élément considéré et à l'intensité du courant.

L'équilibre a lieu lorsque le rayon de courbure est en chaque point inversement proportionnel à la force, c'est-à-dire au courant puisque le champ est le même partout. Ce rayon de courbure est donc proportionnel à l'arc. Or c'est précisément là une propriété de la spirale logarithmique (l'arc étant mesuré à partir du point asymptotique).

Tout cela est aisé à établir.

Prenons, en coordonnées polaires, l'anode pour origine. Admettons que le long de l'arc s l'intensité I varie suivant la loi :

$$I = I_0 e^{-m\omega}.$$

La force F exercée par un champ uniforme H sur un élément de courant et rapportée à l'unité de longueur est :

$$F = HI_0 e^{-m\omega};$$

le rayon de courbure R , la tension T (supposée constante) et la force F sont reliés par la relation :

$$R = \frac{T}{F};$$

d'où :

$$R = \frac{T}{HI_0} \times e^{m\omega}.$$

Posons :

$$\frac{T}{HI_0} = a \sqrt{1 + m^2},$$

il vient :

$$R = a \sqrt{1 + m^2} e^{m\omega},$$

qui est le rayon de courbure de la spirale,

$$\rho = a e^{m\omega}.$$

D'autre part, l'arc s , compté à partir du point asymptotique, est donné par l'expression :

$$s = \frac{a \sqrt{1 + m^2}}{m} e^{m\omega} = \frac{R}{m} \quad (1);$$

il est bien proportionnel au rayon de courbure.

Si maintenant on remplace R par sa valeur donnée plus haut, il vient :

$$Is = \frac{T}{mH} = \text{constante}.$$

(1) On a en effet :

$$ds^2 = \rho^2 d\omega^2 + d\rho^2,$$

et comme

$$d\rho = m\rho d\omega,$$

il vient

$$ds^2 = \rho^2 (1 + m^2) d\omega^2,$$

d'où, en remplaçant ρ par sa valeur $a e^{m\omega}$:

$$s - s_0 = \frac{a \sqrt{1 + m^2}}{m} e^{m\omega};$$

si l'arc est compté à partir du point asymptotique, il est nul pour $\omega = -\infty$, et l'expression précédente se réduit à :

$$s = \frac{a \sqrt{1 + m^2}}{m} e^{m\omega} = \rho \frac{\sqrt{1 + m^2}}{m}.$$

Comme, d'autre part, on a :

$$\frac{ds}{d\omega} = R, \quad \text{il suit de là que} \quad s = \frac{R}{m}.$$

L'intensité varie donc bien en raison inverse de l'arc, quand l'enroulement se fait en spirale, et réciproquement.

Si on connaît les valeurs I_1 et I_2 du courant aux deux extrémités de la colonne anodique, les valeurs correspondantes s_1 et s_2 de l'arc fixent la position de cette colonne sur la spirale, et la différence des arguments ω_1 et ω_2 indiquera le nombre de spires de l'enroulement.

Remarquons que plus I augmente, plus la valeur correspondante de s diminue, et plus, par conséquent, on se rapproche du point asymptotique. On voit ainsi qu'augmenter l'intensité de la décharge revient à faire glisser la colonne anodique le long de la spirale géométrique; elle semblera ainsi s'enrouler autour de l'anode comme un ressort de montre qu'on remonte.

La dernière égalité montre encore qu'il est équivalent de faire varier I ou H . Donc, en augmentant l'intensité du champ, on obtiendra le même résultat qu'en faisant croître le courant.

L'expérience vérifie entièrement ces conclusions.

Le sens dans lequel se fait l'enroulement n'est pas moins important que sa forme; il est régi par la loi suivante :

Pour un observateur qui regarde dans la direction du champ, l'enroulement est décrit à partir de l'anode dans le sens des aiguilles d'une montre; autrement dit, il est dextrorsum.

Si on avait affaire à des charges positives libres, les trajectoires de ces charges seraient au contraire décrites dans le sens inverse de celui des aiguilles d'une montre⁽¹⁾.

Des charges négatives suivraient, il est vrai, des trajectoires dextrorsum, mais elles les décriraient dans le sens cathode-anode. Si on les considère à partir de l'anode, le sens est sinistrorsum.

Ainsi l'hypothèse d'ions positifs ou négatifs en mouvement conduit à un sens d'enroulement exactement inverse de celui qu'on observe; cette hypothèse est donc à rejeter; on est en présence de l'équilibre d'un fil et non de la trajectoire d'une masse⁽²⁾ et le problème appartient au domaine de la Statique et non à celui de la Dynamique.

Cette opposition peut se mettre sous une autre forme et s'énoncer comme il suit :

La trajectoire décrite par une masse électrisée en mouvement dans

(1) On verra que la décharge part de l'anode: il y avait donc lieu de considérer des particules positives capables, comme celles du radium, de parcourir un grand espace dans l'air.

Les ions ordinaires, même ceux des flammes, dont la mobilité atteint 80 centimètres pour les ions positifs, seraient tellement sensibles au champ magnétique qu'ils ne pourraient s'éloigner de l'anode dans l'expérience de la fig. 9.

(2) De même la courbure de la parabole décrite par un projectile pesant est inverse de celle d'un fil pesant fixé en deux points (chainette).

un champ magnétique est parcourue dans un sens tel que le courant de convection produit diminue le champ magnétique.

Un conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ s'enroule au contraire de manière à augmenter ce champ.

Or ce dernier cas est celui de la lumière positive. Celle-ci doit donc être considérée comme résultant du passage d'un véritable courant de conduction dans une chaîne de particules gazeuses immobiles ou à peu près, tendue entre l'anode et l'espace de Faraday (1^{er} mode de décharge) ou entre l'anode et la cathode (2^e mode).

Particularités de la déviation. — Quand on établit d'abord le champ, et qu'on fait ensuite passer la décharge, la lumière positive apparaît toute déviée. Il n'y aurait là aucune difficulté dans l'hypothèse balistique, une trajectoire étant complètement définie par les conditions initiales, c'est-à-dire avant d'être parcourue. Mais, cette hypothèse étant inadmissible et la colonne anodique ayant les propriétés d'un conducteur parcouru par un courant, il semble que la déviation devrait partir de zéro; on s'attendrait ainsi à voir la colonne anodique, d'abord rectiligne, se déplacer rapidement jusqu'à sa position d'équilibre et balayer ainsi une aire. Ce régime variable se répétant avec un courant intermittent 40 ou 50 fois par seconde, cette aire serait extrêmement visible: or on n'observe rien de semblable⁽¹⁾.

L'explication de cette anomalie est entièrement comprise dans la comparaison suivante; imaginons qu'un fil de platine soit légèrement tendu dans un champ magnétique et qu'on fasse passer dans ce fil un courant capable de le porter au rouge en régime permanent: l'incandescence s'établit lentement, l'inertie calorifique l'emporte sur l'inertie mécanique et le fil est complètement dévié avant de rogir, c'est-à-dire avant d'être visible par sa lumière propre.

Il en est de même avec la lumière positive. Le courant peut parfaitement passer dans la chaîne anodique sans pour cela la rendre immédiatement incandescente. On en a la preuve en répétant simplement l'expérience de de La Rive; avec un courant convenable (0^{amp},04, valeur moyenne rapportée à une alternance admise par la soupape), on obtient vers 2 centimètres de pression un beau ruban

⁽¹⁾ Si le champ est intense (200 unités au moins), la lumière positive est à la fois déviée et étalée, mais la nappe lumineuse qu'elle donne est limitée non par une droite et une courbe, mais par deux courbes correspondant à des déviations différentes (courants d'intensités différentes). Avec la décharge d'un microfarad, cet étalement même disparaît comme le montre la fig. 9.

lumineux qui tourne régulièrement autour du barreau de fer aimanté. Si la rotation est rapide, l'aspect est celui d'une surface de révolution



FIG. 10.

réduite à un certain nombre de méridiennes brillantes ⁽¹⁾. Ces méridiennes correspondent aux phases de plus grand éclat de la lumière positive tournante ⁽²⁾. L'existence d'intervalles obscurs séparant ces

⁽¹⁾ Ces lignes lumineuses sont presque toujours tordues en hélice, parce que le champ qui les entraîne n'a pas la même valeur tout le long du barreau. Il y a retard pour l'extrémité située loin de la bobine magnétisante, et cela quel que soit le sens du courant ; il n'y a pas à proprement parler enroulement électrodynamique, mais simplement retard mécanique par résistance du milieu.

⁽²⁾ Pour une valeur convenable du champ, la durée d'un tour correspond à un nombre exact de périodes et le phénomène paraît fixe. On a, à ce moment, un



FIG. 11.

moteur synchrone multipolaire à inducteur fixe et à induit gazeux mobile, avec stroboscopie automatique (fig. 11, photographie posée).

méridiennes prouve que la chaîne anodique a pu tourner sans être visible ; comme la rotation suppose le passage du courant, la conclusion est évidente. C'est ce phénomène que représente la fig. 10.

Reprenons maintenant la précédente comparaison et supposons qu'on fasse passer dans le fil de platine la décharge d'une bouteille de Leyde : le courant atteindra une valeur énormément supérieure à celle qui suffirait à rougir le fil en régime permanent, mais sa durée sera extrêmement courte ; l'inertie mécanique l'emportera cette fois sur l'inertie calorifique ; le fil sera porté au rouge avant d'avoir été dévié d'une manière appréciable, et il semblera ainsi que cette décharge est insensible au champ magnétique (1).

Ce qu'on observe avec la lumière positive est tout à fait semblable ; la décharge d'une bouteille de Leyde est à peine déviable ; celle d'un

(1) Le problème peut être traité d'une manière très simple en supposant un fil rectiligne non pesant et entièrement libre, mais pourvu d'inertie. En courant continu d'intensité i , le régime variable est de durée négligeable vis-à-vis du temps nécessaire pour rougir le fil (au moins $\frac{2}{10}$ de seconde pour un filament de lampe), et la force exercée par le champ sur le fil est constante, ainsi que l'accélération correspondante γ .

Le déplacement pendant le temps t nécessaire pour produire l'incandescence est :

$$\delta = \frac{1}{2} \gamma t^2.$$

Dans le cas du condensateur, l'expérience montre (fig. 9) que le courant est pratiquement constant pendant la durée de la décharge. Supposons les choses arrangées de telle sorte qu'il en soit de même pour le fil considéré ici. Soit i' le courant, t' sa durée et γ' l'accélération ; le déplacement sera :

$$\delta' = \frac{1}{2} \gamma' t'^2.$$

Mais les accélérations sont entre elles dans le même rapport que les courants. Il en résulte que

$$\frac{\delta'}{\delta} = \frac{i'}{i} \frac{t'^2}{t^2}.$$

D'autre part, en négligeant la déperdition par rayonnement, on a :

$$ARi^2t = ARi'^2t';$$

d'où :

$$\frac{t'}{t} = \frac{i^2}{i'^2}.$$

Le rapport des déplacements est donc :

$$\frac{\delta'}{\delta} = \frac{i^3}{i'^3} = \sqrt{\frac{t'^3}{t^3}}.$$

Les écarts sont en raison inverse des cubes des intensités ou proportionnels aux puissances $\frac{3}{2}$ des durées de décharge.

microfarad l'est notablement, sa durée et son intensité étant plus grandes, et la déviation devient très forte si on ralentit la décharge au moyen d'une résistance inductive.

ACTIONS ÉLECTROSTATIQUES.

Si la lumière positive résulte de l'incandescence d'un conducteur gazeux fixe, les divers points de ce conducteur sont à des potentiels différents et, si on rapproche deux de ces points, il doit y avoir attraction. L'expérience est très facile à réaliser avec un tube en U à branches rapprochées. Le courant doit être faible et la chute de potentiel aussi grande que possible. On réussit très bien avec l'interrupteur Wehnelt ou avec l'alternateur de 500 $\sim$ du Laboratoire de l'École normale; cette fréquence élevée permet d'obtenir facilement de hauts voltages et d'opérer par suite à de fortes pressions (3 à 8 centimètres). Dans ces conditions, l'action des parois devient insignifiante.

Le résultat est alors le suivant : pour des courants très faibles ($0^{\text{amp}},001$ à $0^{\text{amp}},004$ moyen), l'action électrodynamique qui tend à



FIG. 12.

ouvrir la boucle en U formée par la chaîne anodique est faible, comparée à l'action électrostatique, et il y a attraction; quand le courant augmente, la répulsion des deux courants parallèles et de sens contraire compense de plus en plus l'attraction et finit par prédominer vers $0^{\text{amp}},1$ (fig. 12).

On a une représentation exacte du phénomène avec un fil de soie mouillé suspendu en forme d'U aux bornes du transformateur. Suivant l'intensité du courant, on a une attraction ou une répulsion des deux brins du fil.

Un conducteur suspendu à une anode doit nécessairement présenter une électrisation positive. Il en est de même de la chaîne anodique. Des expériences faciles à imaginer permettent de vérifier que cette chaîne est attirée par un objet chargé négativement, mais le phénomène est particulièrement frappant avec le courant à 500 $\sim$. Tout se passe, surtout aux fortes pressions, comme si le tube de verre n'existait pas, et il suffit d'approcher la main à 8 ou 10 centimètres du tube pour attirer la colonne positive, comme on le ferait de la feuille d'or d'un électroscope à cage de verre. Or la main est toujours cathode, et le résultat est d'ailleurs sensiblement le même en approchant du tube une plaque métallique reliée au pôle de la source qui alimente la cathode par l'intermédiaire de la soupape. De cette manière le potentiel de la plaque est aussi bas que possible et la charge alternative de la plaque n'est pas en cause, car elle est nécessairement cathode pendant l'alternance utilisée (1).

CHRONOPHOTOGRAPHIE DE LA DÉCHARGE.

Le dispositif expérimental constamment employé a été le suivant : un objectif extra-lumineux (ouverture $\frac{f}{4}$ environ), adapté à une petite chambre noire, donnait une image réelle de l'étincelle. Près du plan focal conjugué était disposée une large fente encadrant l'image ; dans ce plan focal pouvait glisser une plaque sensible placée dans un châssis à coulisse : le déplacement se faisait à la main. Dans le cas où l'ampoule était alimentée directement par un transformateur, l'intervalle de deux images successives donnait automatiquement la mesure du temps, la fréquence du courant étant exactement connue (42 périodes par seconde).

La *fig. 13* montre le résultat obtenu quand la décharge se produit dans un ballon rempli d'air à la pression de 15 millimètres, la distance des électrodes étant de 11 centimètres. Une soupape étant intercalée dans le circuit, les images se succèdent à une période d'intervalle ($\frac{1}{42}$ de seconde).

(1) Si on relie la plaque à la cathode du tube, après la soupape par conséquent, son potentiel est un peu moins bas. Sa charge n'en est d'ailleurs pas moins alternative, une soupape laissant toujours passer, dans le sens où elle réagit, le courant qui provoque sa réaction, et qui suffit pour charger une capacité aussi petite que celle d'une plaque métallique d'un demi-décimètre carré.

Si l'on imagine une fente étroite perpendiculaire à l'axe des temps et posée sur l'épreuve, la bande ainsi découpée représente la lumière positive à un instant donné. En déplaçant cette fente parallèlement

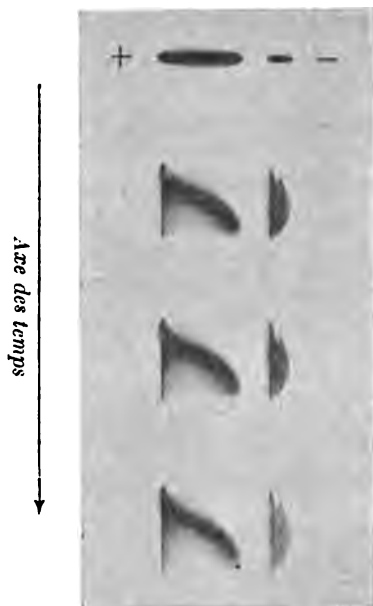


FIG. 13. — Chronophotographie montrant que la lumière positive part de l'anode. Electrodes distantes de 11 centimètres dans un ballon rempli d'air à 15 millimètres.

La décharge est d'abord photographiée sur la plaque au repos (image supérieure). Cette partie de la plaque est ensuite masquée par le volet du châssis et ce dernier, ramené à un bout de la coulisse, est mis en mouvement et passe en vitesse devant l'objectif. L'inconvénient de la courbure imprimée à la lumière positive par l'air chaud est évité en plaçant l'appareil photographique verticalement au-dessus du ballon ; on a ainsi une projection horizontale rectiligne de la décharge.

Le temps croît de haut en bas sur la figure. Les décharges se succèdent à $\frac{1}{42}$ de seconde d'intervalle (courant alternatif avec soupape).

à elle-même, on voit immédiatement que la lumière positive part de l'anode, s'allonge lentement (vitesse, $6^m,7$ par seconde), et que la tête de cette colonne lumineuse est beaucoup plus brillante que le reste. Avec un objectif moins lumineux, l'image se réduirait à une bande inclinée, comme si le phénomène consistait simplement dans le déplacement d'une nébulosité lumineuse partant de l'anode comme

un projectile. D'autres expériences ont montré que ce surcroît d'éclat du front de la colonne anodique tient à ce que cette partie est en présence de gaz neuf, non encore ionisé ou modifié.

Quant à la gaine négative, elle s'allonge, puis se raccourcit, le long de l'électrode, sa longueur suivant très sensiblement les variations d'intensité du courant pendant la décharge.

Arc des temps

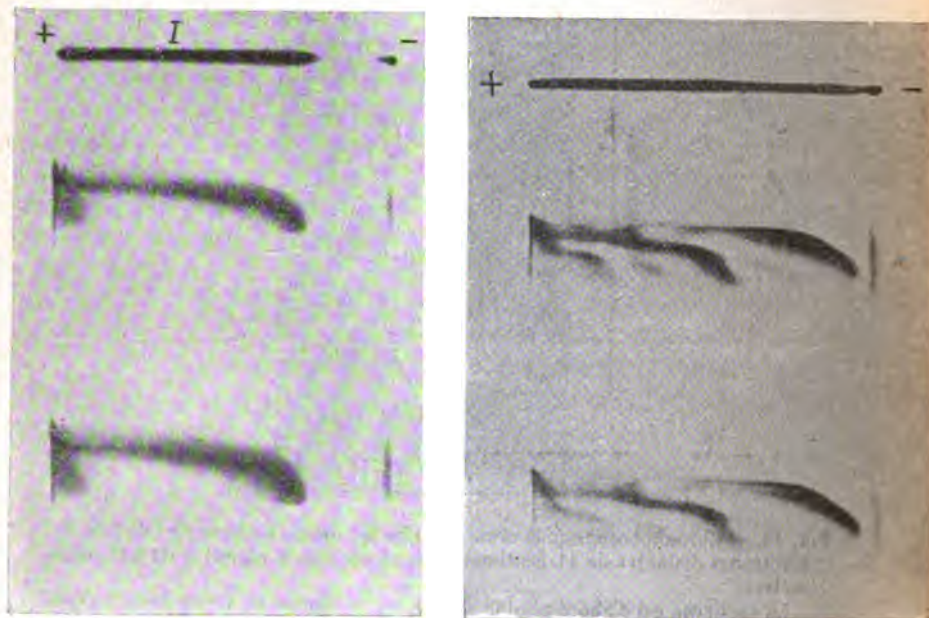


FIG. 14. — Chronophotographies de la décharge dans un long tube, de 5 centimètres de diamètre, à la pression de 15 millimètres. — Distance des électrodes, 47 centimètres. Voltage efficace, 4 000 volts; à gauche, courant faible (0,04 ampère moyen); à droite, courant plus intense.

La comparaison avec la *fig. 13* montre que la vitesse de progression de la décharge est ici beaucoup plus grande.

En haut, photographies sur plaque au repos, au-dessous sur plaque en mouvement; distance de deux points homologues des images, $\frac{1}{42}$ de seconde.

Si on remplace le ballon par un long tube, le voltage augmente à peu près comme la distance des électrodes, et le champ varie à peine. Avec le même courant que précédemment, les vitesses deviennent cependant beaucoup plus grandes. S'il s'agissait d'ions,

cette vitesse serait au contraire constante pour un même champ et une même pression (*fig. 14*).

L'emploi du tube fait apparaître un autre phénomène, tout à fait singulier ; la colonne positive tend à se décomposer en plusieurs segments qui commencent en même temps par le côté anodique et dans lesquels la luminosité se déplace encore avec des vitesses très faibles dans le sens anode-cathode.

La *fig. 14* montre nettement cette tendance, qui ne se manifeste d'ailleurs qu'au-dessus d'une certaine intensité. On voit de plus, par l'écartement des images, presque double de celui de la *fig. 13*, que la vitesse a beaucoup augmenté. Quelques décharges isolées dans la masse gazeuse se voient également, progressant aussi dans le sens anode-cathode.

Cette fragmentation devient très franche quand on augmente beaucoup la fréquence, et paraît tenir à la modification subie par le gaz.

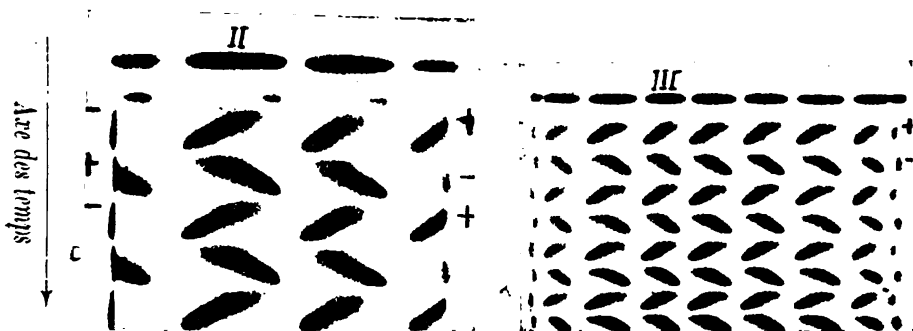


FIG. 15. — Fragmentation de la lumière positive. — Courant alternatif sans sou-pape ; tube de 5 centimètres ; pression, 15 millimètres ; à gauche, distance des électrodes : 47 centimètres ; à droite, distance des électrodes : 90 centimètres.

Tous les segments s'allument simultanément et dans chacun d'eux la lumière progresse dans le sens anode-cathode, sens ici alternatif.

La fréquence (42 périodes) est la même que pour la *fig. 14*. On voit que la vitesse de progression de la décharge est ici beaucoup moindre.

On l'obtient aussi très facilement, avec le courant à 42 périodes, en laissant passer les deux alternances, de manière à réduire beaucoup le temps écoulé entre deux décharges. On obtient ainsi le résultat de la *fig. 15* sur laquelle on voit, en haut, l'image sur plaque immobile, c'est-à-dire l'aspect du tube, et au-dessous la série chronographique montrant nettement que les vitesses sont très faibles et dirigées dans

le sens anode-cathode, sens ici alternatif. La fréquence étant doublée, l'ionisation est plus intense, les têtes des diverses colonnes positives ont seules assez d'éclat pour impressionner la plaque, et les images sont des lignes, ou plutôt des bandes inclinées.

Quand on fait cette expérience en commençant par un courant intense, la colonne positive est continue d'aspect. Si on diminue l'intensité, des nodosités apparaissent comme sur un fil de platine chauffé presque à la température de fusion, puis la fragmentation se produit, donnant l'illusion d'une veine liquide qui se rompt quand on cherche à l'amincir.

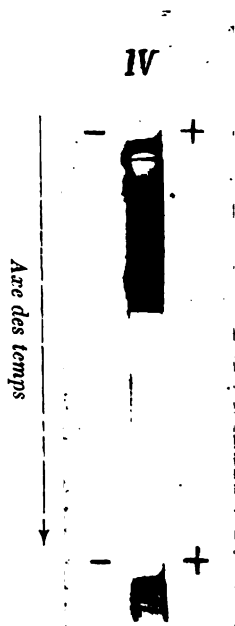


FIG. 16. — Arc à haut voltage à la pression atmosphérique. — Courant alternatif avec soupape (fréquence 42). Entre les deux décharges de même sens on voit un trait pâle (aigrette anodique), indiquant ce que laisse passer la soupape dans le sens où elle réagit. Distance des électrodes, 1 centimètre.

Ce n'est pas seulement dans les tubes de Geissler que s'observe l'établissement de la colonne anodique dans le sens anode-cathode; le phénomène est exactement le même à la pression ordinaire et la vitesse est de même ordre (*fig. 16*).

Il est intéressant de photographier sur plaque mobile la décharge

d'un condensateur ($\frac{1}{2}$ à 1 microfarad). On obtient alors les résultats reproduits par la *fig. 17*. Pour de faibles charges, la lumière positive s'allonge à partir de l'anode, conserve un instant une longueur constante (régime permanent), puis disparaît en laissant subsister cepen-

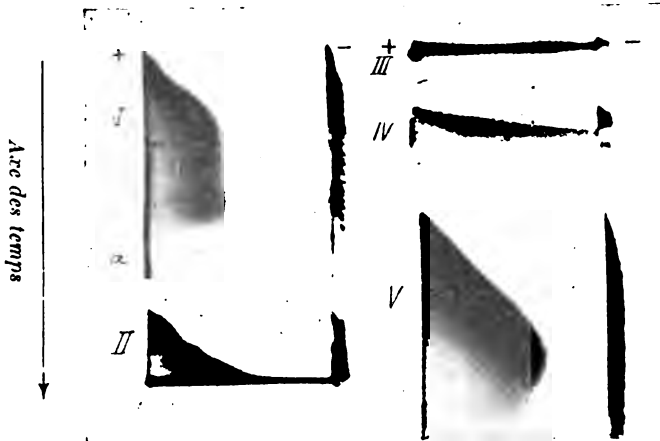


FIG. 17. — Chronophotographies obtenues avec le dispositif de la *fig. 1* (décharge d'un condensateur). — Distance des électrodes, 10 centimètres ; pression, 15 millimètres.

- I. 2400 volts. — Phénomène de Geissler avec régime permanent. Décharge visiblement incomplète du condensateur.
- II. 2500 volts. — Phénomène de Geissler suivi d'un arc déchargeant complètement le condensateur et éteignant la lumière négative.
- III. 3000 volts sans résistance. — Durée inappréciable.
- IV. 3000 volts, 200 à 300 ohms. — Durée notable.
- V. 3000 volts, 5000 ohms. — Suppression de l'arc et retour au cas n° I.

dant à l'anode une aigrette se traduisant sur l'épreuve par un trait α , et on voit ainsi que le condensateur ne s'est pas entièrement déchargé.

Pour une charge plus forte (*fig. 17*, II), l'intensité arrive à la valeur qui permet l'allumage de l'arc, celui-ci donne un trait lumineux perpendiculaire à l'axe des temps, donc de durée inappréciable, et, après son passage, il ne subsiste pas d'aigrette aux électrodes; en outre, la gaine négative disparaît à l'instant où l'arc se produit.

Le numéro III de la même figure montre le trait de feu établi plus rapidement encore (charge à 3000 volts pour 10 centimètres d'étincelle). La durée est inappréciable. Au numéro IV, on voit une décharge obtenue avec le même voltage, mais en interca-

lant une résistance : la durée devient mesurable et on voit que le trait de feu part de l'anode.

Enfin, au numéro V, la résistance intercalée étant considérable (5000 ohms), l'intensité n'a pu atteindre la valeur disruptive et on retrouve l'aspect du numéro I⁽¹⁾.

On voit ainsi qu'il n'existe aucune différence essentielle entre les décharges avec ou sans espace de Faraday. L'une et l'autre partent de l'anode, et de leur intensité seule dépend la possibilité d'atteindre la cathode.

PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES. — EXPÉRIENCE DE MELDE.

La cohésion, apparente ou réelle, de la lumière positive et la tension qu'il faut lui attribuer pour expliquer la déviation magnétique permettent de prévoir que ce conducteur peut être traité, au point de vue mécanique, comme un fil matériel tendu.

La condition essentielle à réaliser est évidemment de donner à ce conducteur une existence permanente ; un courant continu serait sans doute parfait à ce point de vue, mais l'expérience a prouvé qu'un courant intermittent peut suffire, pourvu que les intermittences se succèdent avec une fréquence très élevée ; la chaîne anodique n'a pas le temps de se disloquer dans l'intervalle de deux décharges.

Ce résultat a été obtenu en employant le courant d'un alternateur à 500 périodes que M. H. Abraham a bien voulu mettre à ma disposition, ce dont je suis heureux de le remercier. Avec un transformateur et une soupape on obtient ainsi des décharges séparées par des intervalles peu supérieurs à $\frac{1}{1000}$ de seconde, ce qui est presque la continuité.

Cette fréquence élevée permet d'atteindre facilement de hauts voltages avec une simple bobine de Ruhmkorff comme transformateur, et l'emploi de pressions élevées (2 à 8 centimètres de mercure) devient possible. Dans ces conditions, l'effet d'écran produit par les

⁽¹⁾ Dans mes premières expériences, j'avais attribué ce ralentissement à la self-induction. J'ai vérifié qu'une résistance purement ohmique produit les mêmes effets. Mais il est évident que les résultats seraient les mêmes avec un circuit peu résistant à grande constante de temps, la diminution d'intensité suffisant à empêcher l'établissement de l'arc.

parois du tube à gaz raréfié devient insignifiant ; tout se passe comme si on opérait à l'air libre.

On observe ainsi très aisément l'attraction de la chaîne anodique par un objet chargé négativement et placé à l'extérieur du tube. Il suffit même d'approcher la main pour attirer cette chaîne, comme la feuille d'or d'un électroscope dépourvu de cage protectrice, et on la fait aisément osciller à la manière d'une corde librement suspendue, l'anode étant placée à la partie supérieure du tube disposé verticalement.

On est ainsi conduit à réaliser l'expérience de Melde en prenant comme corde vibrante la lumière positive. Il suffit pour cela d'agiter l'extrémité cathodique en faisant osciller soit la cathode, montée par exemple sur une lame de ressort ⁽¹⁾, soit une fourche métallique extérieure portée par une lame flexible et dont les branches attirent la lumière positive alternativement à droite et à gauche, la fourche étant reliée au sol ou à la cathode de la source.

En donnant à l'extrémité cathodique de la chaîne anodique une impulsion brusque aller et retour, on obtient une onde transversale qui se propage jusqu'à l'anode, simulant exactement ce qu'on observe dans l'expérience classique de la corde suspendue.

Si on fait osciller régulièrement cette même extrémité cathodique, on a les aspects instantanés représentés par la fig. 18 (n° I).

Pour une période convenable, on obtient des nœuds et des ventres (fig. 18, n° II), comme dans une expérience de Melde qui, toutefois, serait mal réglée.

Le numéro III de la même figure montre le résultat obtenu à la pression de 5 centimètres, l'agitation étant faite par la fourche oscillante dont la période est aisée à régler. La photographie a été faite avec une pose simplement courte, chaque épreuve donnant ainsi toutes les positions comprises entre deux phases distinctes.

Le numéro IV est la photographie obtenue dans les mêmes conditions, mais sur plaque mobile. On voit toutes les positions successives de la chaîne oscillante. Il suffirait de calquer les diverses

(1) Pour les vibrations rapides, la cathode était une tige d'aluminium montée à l'extrémité d'une lame d'acier encastrée, et chargée d'une masse assurant l'entretien du mouvement pendant une dizaine de secondes. L'impulsion était donnée par un choc sur le tube ou avec un petit aimant. Les oscillations lentes étaient produites par une cathode montée entre pivots à peu près comme une pendule de Kater. La partie inférieure était lestée par une masse de fer permettant la manœuvre à l'aide d'un aimant.

images et de les placer dans un kinétoscope ou cinématographe pour

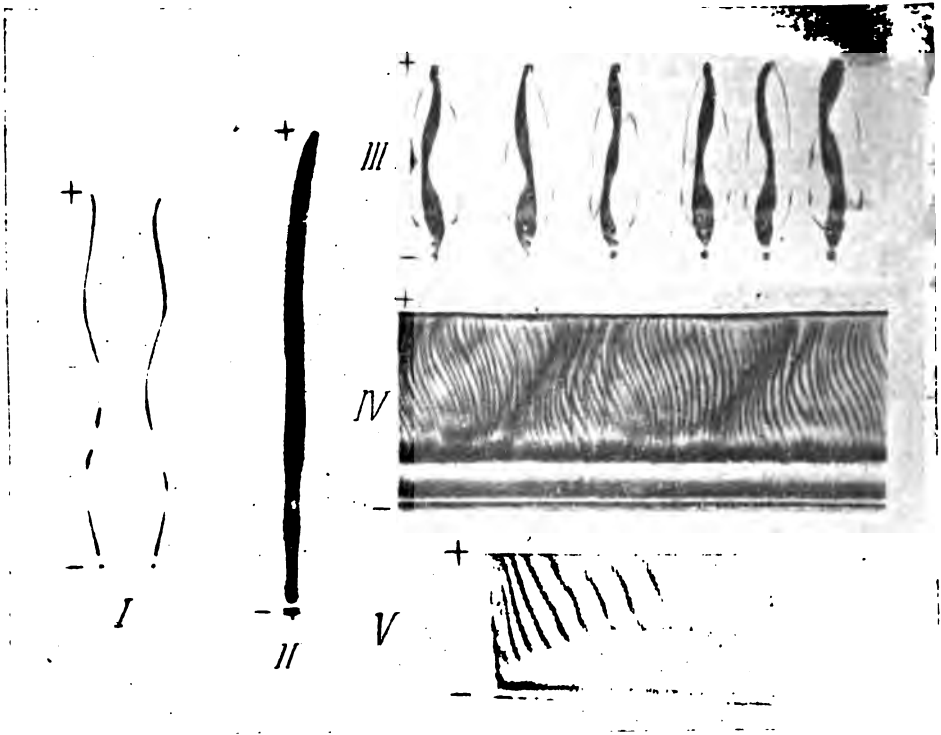


FIG. 18.

reconstituer le mouvement, qui est tout à fait semblable à celui d'une corde vibrante.

Particularités de l'allumage à haute fréquence.

L'épreuve n° IV de la *fig. 18* a été obtenue avec une pose totale voisine d'une seconde. Elle devrait contenir environ 500 images de la chaîne anodique. Or on en compte moins de cent. On a l'explication de cette singularité en répétant l'expérience avec un déplacement plus rapide de la plaque (*fig. 19*). On voit alors que la chaîne oscillante ne s'illumine pas en entier à chaque période, et qu'il faut 12 décharges pour avoir une image complète de cette chaîne. Il est tout à fait manifeste sur la *fig. 19* que l'allumage est, à l'in-

termittence près, tout à fait semblable à celui d'une trainée de poudre : à un instant donné, il n'y a de lumière que sur une très petite

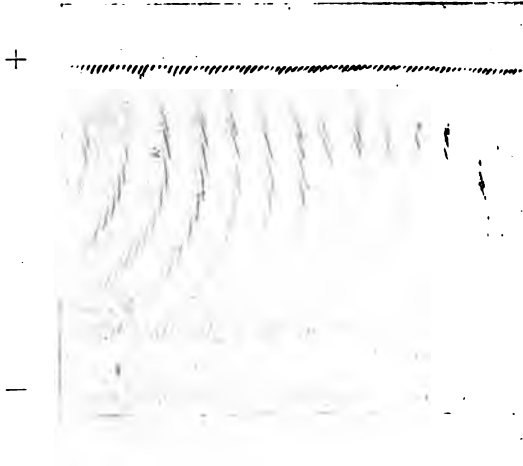


FIG. 19.

longueur, ce qui est brûlé n'en émettant plus et ce qui est intact n'en donnant pas encore.

Le phénomène est donc le suivant : la chaîne anodique est constituée, déviable à l'aimant ou par attraction électrostatique, mais invisible encore ; puis l'émission de lumière commence à l'anode et s'étend progressivement le long de la chaîne, l'éclat étant maximum sur le front d'attaque, très faible sur la partie déjà parcourue et en quelque sorte brûlée. La vitesse de progression étant très petite, le trajet parcouru pendant la durée d'une décharge (moins de $\frac{1}{1000}$ de seconde) n'est que de 20 millimètres environ. A la décharge suivante, le gaz brûlé n'est pas revenu à l'état initial, et tout se passe comme s'il n'y avait pas eu d'interruption ; l'incandescence repart du point où elle avait cessé, parcourt un nouveau trajet de 20 millimètres, qui chevauche un peu sur le précédent, s'éteint encore une fois, et ainsi de suite jusqu'à l'espace de Faraday. Le trajet total est donc parcouru en plusieurs étapes au lieu de l'être d'un seul coup ; ceci était à prévoir, la fréquence du courant ne pouvant évidemment augmenter la vitesse de progression de l'incandescence du gaz.

Tout cela est aisé à vérifier en photographiant, sur plaque mobile,

le début de l'allumage, la chaîne anodique étant laissée en repos (fig. 18, n° V, et fig. 20). On voit alors très nettement que cet allu-



FIG. 20.

mage se fait par bonds successifs, et qu'il a fallu (dans cette expérience) sept périodes pour atteindre l'espace de Faraday.

Mais, pendant ce temps relativement grand ($\frac{7}{300}$ de seconde), le gaz modifié a pu se reconstituer, et l'allumage recommence à l'anode pour donner une seconde fois la même série d'échelons.

On voit, en outre, qu'au bout d'un grand nombre de périodes la luminescence devient extrêmement faible. Cet affaiblissement n'avait pas lieu quand la chaîne anodique oscillait; il faut donc l'attribuer à l'accumulation du gaz modifié sur le trajet fixe de la décharge. Ici encore on voit que l'ionisation n'est pas favorable à l'émission de la lumière.

INFLUENCE DE LA DISTANCE DES ÉLECTRODES.

Dans un large tube AC (fig. 21), disposons deux électrodes planes de même diamètre que le tube, et dont l'une sera mobile à coulisse⁽¹⁾, l'anode par exemple. Supposons la distance des plateaux

(1) L'extrémité libre de la tige *l* est terminée par un petit cylindre de fer. Le déplacement se fait au moyen d'une courte bobine qu'on fait glisser sur le tube de verre contenant la coulisse. Il est avantageux que la bobine soit parcourue par un courant alternatif, les vibrations produites par ce courant supprimant les frottements au départ.

La cathode doit être absolument jointive et, pour cela, munie en arrière d'un large rebord; sans cette précaution, la décharge peut en faire le tour.

d'abord très grande, et le vide tel que l'épaisseur ab de l'espace obscur de Hittorf soit petite comparée au diamètre du tube (5 à 6 millimètres pour un diamètre de 6 centimètres au moins).

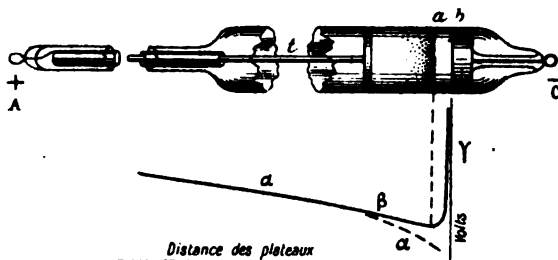


FIG. 21.

Faisons passer dans l'appareil un courant continu et rapprochons l'anode de la cathode en réglant le voltage de manière à maintenir l'intensité constante.

Le mouvement de l'anode raccourcit d'abord la colonne positive par son extrémité anodique sans modifier les autres parties de la décharge. Comme le gradient est constant dans la lumière positive, la décroissance du voltage aux électrodes se fait linéairement, et il en est ainsi jusqu'à l'espace de Faraday. A partir de ce moment on est dans la région où, l'ionisation cathodique supprimant la lumière positive, le courant passe par convection seulement. Le rapprochement de l'anode a pour effet de raccourcir le chemin que les ions doivent parcourir. et, pourvu que le champ demeure constant, le courant ne variera pas. Le voltage diminuera encore linéairement, mais suivant une loi différente de la précédente.

Cette décroissance continuera jusqu'à l'espace obscur de Hittorff, mais un autre phénomène interviendra alors : j'ai montré que tout obstacle placé dans cet espace gêne l'alimentation de la cathode par l'afflux cathodique ⁽¹⁾. Le débit, proportionnel au nombre des particules constituant l'afflux, diminuera donc et, pour le maintenir constant, il faudra relever le voltage aux électrodes ; on obtiendra ainsi

(1) En particulier, si le tube est obturé par un diaphragme perforé placé dans l'espace obscur, l'émission cathodique se fait presque uniquement par les points situés en face des centres des ouvertures du diaphragme.

la courbe représentée au-dessous du tube sur la même figure ⁽¹⁾.

Il résulte de ce qui précède que *la différence de potentiel nécessaire au passage de la décharge entre deux plateaux est minima quand la distance des plateaux est exactement égale à l'épaisseur de l'espace obscur de Hittorff*.

On verra plus loin que la décharge ne peut avoir lieu qu'à partir d'une intensité minima. D'autre part, l'épaisseur de l'espace obscur augmente quand l'intensité diminue. On est ainsi conduit à l'énoncé suivant :

Le voltage nécessaire à l'établissement d'une décharge électrique entre plateaux parallèles est minimum quand la distance des plateaux est égale à l'épaisseur d'espace obscur qui correspond au courant minimum exigé par la décharge ⁽²⁾.

Construite pour ce courant critique, la courbe précédente ne peut être qu'identique à la courbe dite de Paschen.

D'après ce qu'on vient de voir, cette courbe résume les lois de trois phénomènes essentiellement distincts : la lumière positive, la convection dans l'espace de Faraday, l'alimentation de la cathode (régions α , β , γ de la courbe); on comprend qu'il soit difficile de traduire cette courbe par une fonction simple.

Il est d'ailleurs facile de vérifier que le relèvement du potentiel explosif le long de la branche γ est bien dû aux phénomènes cathodiques. Il suffit de prendre pour électrodes deux plateaux minces (1 millimètre) d'un diamètre très légèrement inférieur à celui du tube. Quand les plateaux sont à une distance inférieure à l'épaisseur de l'espace obscur, la décharge allonge d'elle-même son trajet *en contournant la cathode*, et jamais en contournant l'anode.

Dans l'expérience précédente, on pourrait maintenir le voltage constant et obtenir l'extinction de la décharge en rapprochant les

⁽¹⁾ Il est commode de réaliser un courant constant au moyen d'une source à très haut voltage, en série avec une très forte résistance. Dans ces conditions, le tracé de la courbe est très facile; il suffit de lire à tout instant les indications d'un voltmètre statique relié aux points A et C.

⁽²⁾ Il conviendrait de dire : « Entre plateaux parallèles *indéfinis*. » Pratiquement l'épaisseur ab de l'espace obscur doit être négligeable vis-à-vis du diamètre des plateaux. Si elle est trop grande, le minimum du voltage a lieu pour une distance des plateaux supérieure à ab . Cela résulte de l'électrisation positive perturbatrice des parois, électrisation qui resserre, comme je l'ai démontré, l'afflux cathodique, diminue la section utile de la cathode et réduit le débit. Tout se passe comme si une anode annulaire était placée dans l'espace obscur. Il faut donc rendre insignifiante cette action des parois, et cette condition serait précisément réalisée avec des plateaux de largeur infinie.

électrodes, ou l'allumage en les écartant (branche γ). Cette réversibilité ou réciprocity caractérise le phénomène de Geissler. Supposons maintenant qu'on laisse l'intensité prendre une valeur telle que l'arc s'établisse. Il n'y aura plus alors d'espace de Faraday ni de phénomènes cathodiques, et la branche γ de la courbe disparaîtra ainsi que la partie β . On pourra encore observer l'allumage par écartement des électrodes, parce que, dans l'établissement d'une décharge quelconque, l'intensité part nécessairement de zéro, et qu'avant d'arriver à l'arc, on passera par le phénomène de Geissler. Mais, une fois l'arc établi, on ne pourra pas l'éteindre en rapprochant les électrodes, et la réversibilité dont il était question plus haut n'existera plus. La courbe se réduira à la branche α , qui se prolongera jusque vers l'origine.

Ainsi la courbe qui représente la relation entre le potentiel explosif et la distance des électrodes est, aux retards près, applicable aussi bien à l'extinction qu'à l'établissement du phénomène de Geissler. Elle ne s'applique pas à l'arc une fois établi et se réduit à la branche qui correspond à la lumière positive.

ROLE PRÉPARATOIRE DES IONS.

Il est tout à fait manifeste qu'une ionisation intense gêne l'étincelle électrique, supprime par exemple la lumière positive, empêche l'établissement de l'arc et transforme la décharge lumineuse en un courant de convection obscur. Il n'est cependant pas niable qu'une légère ionisation abaisse le potentiel explosif et paraît même nécessaire à l'établissement de la décharge.

D'autre part, c'est généralement par défaut d'intensité, et non insuffisance de voltage, qu'une décharge électrique s'éteint⁽¹⁾. C'est précisément cette condition d'un minimum d'intensité qui fait disparaître la contradiction.

Reprenons le tube de la *fig. 21* et relions ses électrodes à une batterie d'accumulateurs par l'intermédiaire d'une résistance très forte (supérieure à 10 mégohms) et d'un galvanomètre.

L'électrode mobile étant, par exemple, d'abord trop près de la cathode, éloignons-la progressivement de celle-ci : à un certain

(1) On a vu en effet que, sauf pour les tubes de Crookes où la lumière positive manque ou n'est pas prépondérante, le voltage baisse à mesure que l'intensité augmente.

moment le galvanomètre accuse le passage d'un très faible courant qui augmente si on fait croître la distance des plateaux et diminue dans le cas contraire. L'intensité peut ainsi varier de quelques cent-millionièmes à quelques millionièmes d'ampère et suit exactement, d'une manière en quelque sorte réversible, les variations de distance des électrodes, sous la seule condition qu'on ne dépasse pas une certaine intensité.

Si on place le tube dans un champ magnétique longitudinal, variable à volonté, le courant augmente ou diminue en suivant exactement les variations de la force magnétique. Un champ transversal affaiblit le courant ou même le supprime.

Il est tout à fait évident qu'on est en présence d'un courant de convection. Des ions sont produits, transportent l'électricité d'une électrode à l'autre, mais sont en partie arrêtés par les parois du tube. Le champ longitudinal oblige ces ions à décrire des hélices et les canalise ainsi dans des tubes de force. La déperdition latérale diminue et le courant augmente. Comme on doit s'y attendre, cette augmentation cesse quand tous les ions sont captés, c'est-à-dire à partir d'une certaine valeur, évidemment faible, du champ magnétique ; quelques dizaines d'unités suffisent pour cela. Un champ transversal rejette au contraire les ions sur les parois et supprime le courant. Ces propriétés sont absolument caractéristiques de cette phase de la décharge.

Supposons maintenant qu'en écartant les électrodes, ou au moyen du champ magnétique, on dépasse une certaine intensité, aussitôt le courant se met à augmenter de lui-même plus ou moins vite ; sa valeur devient dix ou vingt fois supérieure à la limite qu'on venait de franchir, et en même temps le voltage aux électrodes baisse énormément par suite de la chute de tension dans la résistance ; sans cette dernière, on arriverait généralement à l'arc.

A partir de ce moment, les propriétés du tube en activité sont complètement transformées, un champ longitudinal n'a plus qu'une action insignifiante sur l'intensité : de même pour le champ transversal. Le phénomène est donc tout autre que précédemment, et par conséquent on n'a plus affaire à un pur courant de convection, on est en présence du phénomène de Geissler, d'ailleurs visible dans l'obscurité.

Remarquons maintenant que cette transformation, due à un accroissement d'intensité, a été accompagnée d'une forte baisse de voltage

(50 0/0 par exemple). Ce voltage était donc, dans la première partie de l'expérience, plus que suffisant pour que la décharge soit possible. L'ionisation existait, puisque le courant passait; toutes les conditions requises semblaient donc réalisées; cependant la décharge ne s'établissait pas. Il paraît donc évident qu'une certaine intensité est nécessaire pour que la décharge se constitue, et qu'il y a en particulier un véritable seuil pour la formation de la chaîne anodique. On a déjà vu quelque chose d'analogue à propos des phénomènes précurseurs.

Cette conclusion paraît d'autant plus naturelle que la résistance de la chaîne anodique possède la remarquable propriété de diminuer à mesure que le courant augmente, jusqu'à devenir presque nulle quand l'arc est établi.

Ainsi l'ionisation est bien nécessaire pour préparer la route de l'étincelle, le courant de convection qu'elle produit servant à franchir le seuil d'établissement de la décharge proprement dite.

En résumé, la lumière positive ou anodique n'est pas un ensemble de particules indépendantes les unes des autres; c'est *un* objet dont toutes les parties sont liées entre elles et qui se comporte comme un conducteur flexible et extensible.

Cet objet, comparable peut-être à un tourbillon, ou à une chaîne de limaille dans un champ magnétique, ou à une veine fluide, est d'autant plus important, plus stable et plus conducteur que le courant est plus intense; il ne se constitue qu'à partir d'une certaine intensité, d'où la nécessité d'un amorçage par le courant de convection résultant d'une ionisation préalable. Enfin il est détruit ou désagrégé par une ionisation excessive.

L'arc électrique, l'étincelle oscillante d'un condensateur, la luminescence instantanée d'une ampoule sans électrodes dans un champ croissant sont des décharges intenses réduites par cela même à la lumière positive sans gaine négative ni chute cathodique.

Dans un tube de Crookes, tout se réduit au contraire à des phénomènes cathodiques.

Le phénomène de Geissler est une décharge assez peu intense pour que l'ionisation cathodique puisse désagréger la lumière positive près de la cathode (espace obscur de Faraday). C'est la décharge au maximum de différenciation.

Le transport de l'électricité par simple convection, c'est-à-dire par des ions libres, ne produit pas de lumière.

LES RAYONS CATHODIQUES ET L'AURORE BORÉALE ⁽¹⁾ ;

Par M. P. VILLARD.

Un certain nombre d'auteurs admettent que l'aurore boréale est produite par des rayons cathodiques, mais aucune théorie satisfaisante n'a été proposée pour expliquer la structure et les mouvements de l'aurore. Quant à la cause proprement dite du phénomène, il semble difficile de choisir entre les hypothèses faites à ce sujet avant de savoir en quoi consiste le phénomène lui-même et d'être en mesure d'en expliquer les diverses particularités.

Cette explication ne résulte pas immédiatement des propriétés des rayons cathodiques : on ne voit pas *a priori* comment ces rayons donneraient à l'aurore l'aspect d'un éventail ou d'une draperie reposant sur un arc dont l'intérieur est sombre, pourquoi les rayons auroraux seraient dirigés suivant les méridiens magnétiques alors que les rayons cathodiques s'enroulent autour des lignes de force d'un aimant ; on ne comprend pas davantage les mouvements de rotation de l'aurore boréale autour de l'axe magnétique de la Terre.

L'hypothèse d'une émission cathodique n'apparaît donc pas avec un caractère d'évidence immédiate. Pour en vérifier le bien fondé, il est manifestement nécessaire d'entreprendre une étude détaillée des propriétés magnétiques des rayons cathodiques, et, si l'hypothèse en question est exacte, les résultats de cette étude expliqueront immédiatement tous les phénomènes auroraux.

Les rayons cathodiques ne sont pas les seuls à considérer au point de vue qui nous occupe. La preuve n'a pas été faite qu'ils soient la cause de l'aurore boréale et l'examen comparatif des divers rayonnements de nature électrique peut seul permettre de décider quelle hypothèse il convient d'adopter.

Indépendamment des rayons cathodiques, trajectoires des corpuscules négatifs, le passage de l'électricité dans un gaz raréfié produit des rayons qui transportent des charges positives et sont, par suite, sensibles à un champ magnétique. Le sens de la déviation est inverse de celui des corpuscules cathodiques, mais cette déviation a lieu suivant les mêmes lois.

Les particules positives qui forment ces rayons possèdent une

(1) Séance du 4 mai 1906.

charge égale en valeur absolue à celle des corpuscules négatifs, mais leur masse matérielle est beaucoup plus grande : chacune représente un atome d'hydrogène auquel on a enlevé un corpuscule, soit $1/2000$ seulement de son poids ; son électrisation positive résulte simplement de ce fait qu'un atome neutre a perdu une certaine charge négative $-e$, et possède par suite la charge complémentaire $+e$.

Enfin des poussières électrisées se comporteraient dans une certaine mesure comme des corpuscules cathodiques. M. Arrhénius a précisément supposé que, sous l'action répulsive de la lumière, des poussières suffisamment ténues ($1/1000$ de millimètre de diamètre environ) pourraient être repoussées par le Soleil malgré leur poids et, formées dans le voisinage de l'astre central, s'éloigneraient de lui et arriveraient jusqu'à la Terre. En admettant que ces poussières soient électrisées, M. Arrhénius explique, par leur arrivée dans notre atmosphère, la production de l'aurore boréale et la dépendance manifeste qui existe entre l'apparition des aurores et les manifestations de l'activité solaire.

Si nous comparons les charges transportées par un même poids de ces corpuscules ou particules, nous aurons une idée très nette des effets magnétiques auxquels on doit s'attendre.

Un gramme de corpuscules cathodiques transporte 186 500 000 coulombs.

Un gramme de particules positives, qui sont 1933 fois plus lourdes, transporte seulement 96 500 coulombs ; c'est la charge d'un gramme d'hydrogène dans l'électrolyse.

Enfin les poussières chargées à 10 000 volts, par exemple, ne possèdent qu'une charge infiniment moindre, soit, pour 1 gramme, environ $1/10000$ de coulomb, ou moins encore si elles possèdent une densité élevée.

Les corpuscules donneront donc des effets magnétiques considérables et seront fortement déviés par le champ terrestre.

Les particules positives subiront des déviations deux mille fois moindres, mais encore très sensibles. Dans le voisinage de l'aimant terrestre, les rayons cathodiques s'enrouleront en circonférence de 60 mètres de diamètre au plus ; les rayons positifs, dans les mêmes conditions de vitesse, décriront des spires de 120 000 mètres. Quant aux poussières électrisées, non seulement elles seront à peine sensibles au champ terrestre, mais elles seront très rapidement arrêtées

par la résistance de l'air. Elles pourront être la cause originelle de l'aurore, mais elles n'en expliqueront pas la structure et les déplacements.

Nous allons examiner maintenant l'action d'un champ magnétique sur les rayons cathodiques. Au sens et à la grandeur près, les résultats seront applicables aux rayons positifs.

Champ uniforme. — On sait que, lancé dans un champ uniforme, un corpuscule cathodique décrit, suivant que sa vitesse est normale ou oblique au champ, une circonférence ou une hélice. Cette propriété est d'ailleurs évidente :

Supposons en effet le corpuscule lancé perpendiculairement aux lignes de force. Il est soumis à une force constamment perpendiculaire à sa vitesse ; celle-ci reste donc invariable. La direction seule est modifiée, tout en restant évidemment dans un plan perpendiculaire au champ (plan contenant la vitesse et la force). La trajectoire est donc plane. D'autre part, la force est constante, l'accélération l'est donc également ainsi que la courbure ; la trajectoire suivie par le projectile cathodique devant être à la fois plane et à courbure constante ne peut être qu'une circonférence, parcourue d'un mouvement uniforme.

Si le rayon incident est oblique au champ, sa vitesse peut être résolue en deux composantes : l'une, perpendiculaire au champ, donne une circonférence parcourue à vitesse constante (arc proportionnel au temps) ; l'autre, parallèle au champ, produit un déplacement du mobile proportionnel aussi au temps et non modifié par le champ. Nous avons ainsi un point dont l'ordonnée est proportionnelle au temps comme son abscisse curviligne ; ce point se déplace donc sur une hélice, dont le diamètre est celui de la circonférence correspondant à la composante de la vitesse qui est perpendiculaire au champ.

Le rayon de cette circonférence, ou de cette hélice, est donné par la formule connue :

$$R = \frac{m}{e} \frac{V}{H} \text{ (unités électromagnétiques C. G. S.),}$$

$\frac{m}{e}$ étant le rapport de la masse à la charge ; V , la vitesse ou sa composante perpendiculaire au champ ; H , le champ ; m et e n'interviennent évidemment que par leur rapport, car, si l'on rend solitaires par exemple deux projectiles identiques, ce qui double charge

et masse, la trajectoire du système reste celle de chaque projectile (1).

(1) On peut établir cette formule d'une manière presque élémentaire :

Soient m , e , V la masse, la charge et la vitesse d'un mobile lancé suivant Ox (fig. 1) normalement aux lignes de force d'un champ uniforme H , perpendiculaire au plan de la figure. Ce mobile électrisé en mouvement équivaut à un cou-

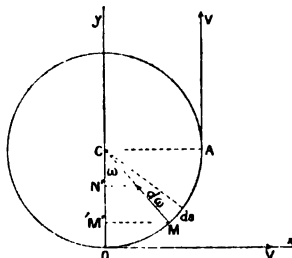


FIG. 1.

rant eV et se trouve ainsi soumis de la part du champ à une force HeV qui lui communique une accélération $\frac{HeV}{m}$ normale à la direction de la vitesse et à celle du champ, c'est-à-dire située dans le plan de la figure. Sous cette action le mobile décrit dans ce plan, d'un mouvement uniforme, une circonférence de centre C et de rayon R .

Après un quart de tour, le mobile est arrivé au point A , et sa vitesse, toujours égale à V , est dirigée maintenant suivant Oy . Or, quand le mobile était en O , sa vitesse n'avait pas de composante dans le sens Oy . Donc, pendant le trajet OA , l'action du champ a communiqué à ce mobile une vitesse V , parallèle à Oy .

Soit M la position du mobile à l'instant t , ds l'élément parcouru dans le temps dt , ω l'angle MCO ; l'accélération MN dirigée suivant MC (normalement à la trajectoire) a pour composante suivant Oy :

$$M'N' = MN \cos \omega ;$$

or $MN = \frac{HeV}{m}$, d'où

$$M'N' = \frac{HeV}{m} \cos \omega ;$$

pendant le temps dt , cette accélération imprime au mobile une vitesse dont la composante suivant Oy a pour valeur :

$$dV = \frac{HeV}{m} \cos \omega \cdot dt.$$

D'autre part, $ds = Vdt$, d'où

$$dV = \frac{He}{m} \cos \omega \cdot ds ;$$

mais $\cos \omega \cdot ds$ n'est autre chose que dx et, par suite,

$$dV = \frac{He}{m} dx.$$

Or la somme de tous les éléments dV donne, au bout d'un quart de tour, préci-

Supposons maintenant qu'un rayon cathodique soit émis par un point d'une cathode. Ce point d'émission n'est géométriquement qu'un point de la trajectoire; il se trouve donc, si le rayon est perpendiculaire au champ, sur la circonférence. Autrement dit, tous les rayons émis par un point dans un plan perpendiculaire au champ, quelles que soient leurs vitesses, décriront des circonférences contenant le point d'émission et, par suite, reviendront tous à ce point. Si les vitesses seules diffèrent, mais non les directions, on obtiendra

sélement V. La somme des éléments dx , pour l'arc OA, n'est autre que CA, rayon de la circonférence, et l'intégration se réduit à écrire :

$$V = \frac{He}{m} R,$$

ou bien

$$R = \frac{mV}{eH}.$$

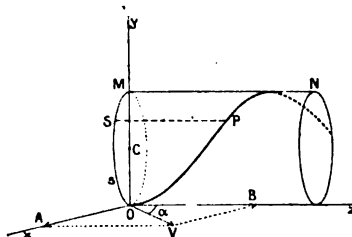


FIG. 2.

On aurait également pu remplacer ds par sa valeur $Rd\omega$ et écrire :

$$dV = \frac{HeR}{m} \cos \omega d\omega ;$$

intégrant de zéro à $\frac{\pi}{2}$, on retrouve la formule précédente.

Si la vitesse OV (fig. 2) fait un angle α avec la direction Oz du champ, on doit la résoudre en deux composantes $OA = V \sin \alpha$ et $OB = V \cos \alpha$.

La première composante ferait décrire au mobile une circonférence C ayant pour rayon :

$$R' = \frac{mV \sin \alpha}{e \cdot H} ;$$

le mouvement étant uniforme, l'arc OS = s sera proportionnel au temps et aura pour valeur :

$$s = V \sin \alpha \times t.$$

La composante $V \cos \alpha$, parallèle au champ, produira simplement une translation uniforme parallèle à Oz. Le trajet parcouru sera proportionnel au temps et, par suite, à l'arc s .

L'ordonnée SP' de la trajectoire étant ainsi proportionnelle à l'abscisse curvi-

une famille de circonférences toutes tangentes à la direction initiale au point d'émission, et de diamètres différents (*fig. 3*).

Pour un observateur regardant dans le sens du champ, l'enroulement est décrit dans le sens des aiguilles d'une montre.

En considérant la formule précédente, on voit qu'il revient au même de faire varier le champ ou la vitesse ; avec des rayons de vitesse unique, on obtiendrait, en faisant varier le champ, l'aspect de la *fig. 3*. Le diamètre de chaque circonférence serait en raison inverse du champ.

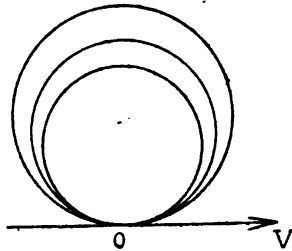


FIG. 3. — Enroulement de rayons de vitesses différentes et de même direction initiale OV (trois rayons seulement figurés).

Si les rayons sont obliques au champ, et de même direction, on aura une famille d'hélices dont le pas et le diamètre sont l'un et l'autre proportionnels à la vitesse et dont le rapport est celui des deux composantes de cette vitesse, c'est-à-dire constant. Ces hélices seront donc semblables et enroulées sur des cylindres parallèles au champ ; de même que les circonférences précédentes passaient

ligne s est une hélice. Le pas p de cette hélice est la valeur de z qui correspond à un tour complet, c'est-à-dire à $s = 2\pi R'$.

Le rapport des trajets étant celui des vitesses, on a :

$$\frac{p}{2\pi R'} = \frac{V \cos \alpha}{V \sin \alpha} = \frac{1}{\tan \alpha} \quad \text{ou} \quad \frac{p}{R'} = \frac{2\pi}{\tan \alpha}.$$

Remplaçant R' par sa valeur, il vient :

$$p = 2\pi \frac{mV}{eH} \cos \alpha.$$

L'avant-dernière égalité montre de plus que, si α est invariable, il en est de même du rapport $\frac{p}{R'}$.

Le rapport du pas de l'hélice à son diamètre ne dépend donc ni du champ, ni de la vitesse, mais seulement de la direction. Autrement dit, des corpuscules cathodiques de direction constante, lancés avec des vitesses quelconques dans des champs d'intensités diverses, décriront des hélices semblables.

toutes par le point d'émission, les cylindres dont il s'agit auront tous une génératrice commune passant par ce même point (*fig. 4*).

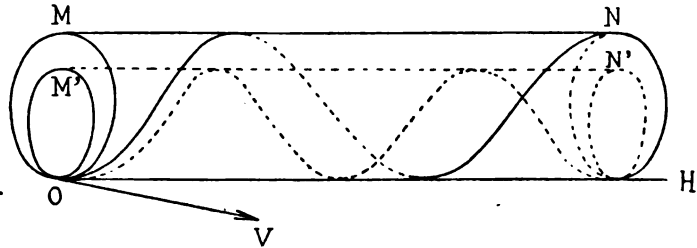


FIG. 4. — Enroulement hélicoïdal de deux rayons de même direction et de vitesses différentes dans un champ uniforme (hélices semblables).

Enfin, si les directions et les vitesses sont quelconques, on aura des hélices quelconques, mais les cylindres d'enroulement conserveront la génératrice commune dont il s'agit.

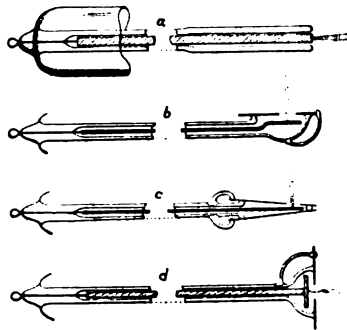


FIG. 5. — Cathodes employées pour obtenir un faisceau cathodique fin.

Pour réaliser les conditions voisines de ces cas théoriques, on prend une cathode plane ou faiblement concave, de 8 millimètres à 10 millimètres de diamètre, enfermée dans une coupe en verre sur les bords de laquelle s'applique une lame de mica percée d'une ouverture de 3 millimètres à 4 millimètres de diamètre (*fig. 5*). L'émission se fait uniquement par le point de la cathode situé en face du centre de cette ouverture, qu'elle soit près du milieu ou des bords de la cathode; celle-ci étant assez large, le champ électrique est sensiblement uniforme dans son voisinage, seule région de l'ampoule

où il soit intense, et l'on a un faisceau presque parallèle et très étroit, suffisant pour observer dans de bonnes conditions les circonférences d'enroulement et quelques spires d'hélice. Avec une cathode enfermée dans une coupe très aplatie, on peut très facilement observer le retour des rayons au point d'émission (*fig. 5 c*).

On obtient également de bons résultats avec des cathodes analogues à celles de M. Hittorf (*fig. 5 a*).

Tous ces dispositifs s'améliorent à l'usage ; le métal se creuse au point de départ du faisceau et celui-ci devient de mieux en mieux défini.

Quelques précautions sont à prendre pour l'usage de ces appareils fragiles. Les décharges irrégulières de la bobine de Ruhmkorff conviennent mal ; il faut employer soit la machine statique, soit un transformateur à haut voltage qui fournit un courant d'une parfaite régularité. On met un rhéostat sur le primaire et une résistance liquide sur le circuit secondaire.

Le vide doit être fait sur l'oxygène pur, dans lequel les rayons cathodiques sont extrêmement visibles. Cet oxygène s'épuisant assez vite, on le renouvelle en chauffant un petit tube fixé à l'ampoule et contenant un peu d'oxyde d'argent pur, préparé sans faire usage de filtres et lavé seulement par décantation.



FIG. 6. — Faisceau cathodique fin photographié : 1° sans faire agir le champ magnétique ; 2° quand le champ est établi.

La *fig. 6* représente un enroulement photographié dans une ampoule de ce genre. Sur la *fig. 7* on a photographié le faisceau initial et son enroulement dans une série de champs de diverses valeurs, jusqu'à 1200 unités environ. On reconnaît l'aspect prévu par la *fig. 3*.

Pour étudier les hélices, il faut diaphragmer le faisceau de manière à éliminer tous les rayons sensiblement écartés de la direction prin-

cipale. On y arrive aisément en plaçant, en avant de la cathode, un diaphragme de mica percé d'une très petite ouverture. Celle-ci pourra être sur la ligne de force passant par le point d'émission (ligne OH de la *fig.* 4). En réglant convenablement l'inclinaison de la cathode (perpendiculaire à OV) et la distance du diaphragme, on épure le faisceau après une ou deux ou trois spires complètes ; on reste d'ailleurs maître de faire varier à volonté le diamètre des cylindres d'enroulement, puisqu'on diaphragme sur la génératrice commune à tous.



FIG. 7. — Même expérience en donnant successivement au champ diverses valeurs.

Il est souvent préférable de diaphragmer au contraire sur une ligne telle que M'N', parce que les rayons de vitesses différentes sont alors plus séparés. Mais le diamètre des hélices est alors imposé, et c'est en réglant la valeur du champ qu'on arrive à faire passer les rayons par le trou ménagé dans la lame de mica.

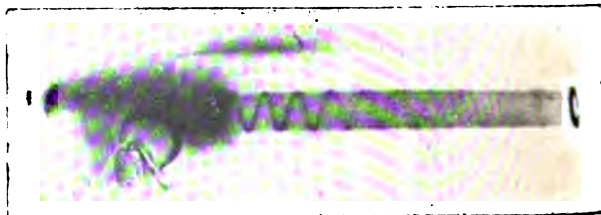
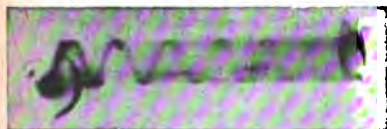


FIG. 8. — Enroulement d'un rayon cathodique dans un champ oblique à sa direction.

Ce mode d'épuration du faisceau, après un nombre convenable de spires ou de demi-spires, donne beaucoup de précision aux observations et permet de distinguer jusqu'à dix spires complètes.

La *fig.* 8 représente un enroulement ainsi obtenu. On voit que les choses se passent tout à fait conformément à la théorie.

Champ non uniforme. — Les rayons s'enroulent encore suivant les courbes qui rappellent l'hélice, mais cet enroulement ne se fait pas en général sur un tube de force.

Le problème ne peut être abordé géométriquement que dans des cas très simples : supposons, par exemple, un champ tel qu'on l'obtient entre les pôles de deux électro-aimants droits placés dans le prolongement l'un de l'autre. Ce champ est de révolution, il possède un plan équatorial ; dans ce plan, et dans des plans parallèles, il décroît de l'axe à la périphérie ; les lignes de force sont courbes et convergent vers les pôles (champ en forme de barillet).

Considérons un rayon lancé dans le plan équatorial suivant une direction AV passant par l'axe O du champ (fig. 9), et donnons-nous la position des lignes d'égale force magnétique (circulaires) et la valeur de la force sur chacune de ces lignes (décroissante de l'axe à la périphérie), cette décroissance étant représentée par un écartement progressif des lignes d'égale force.

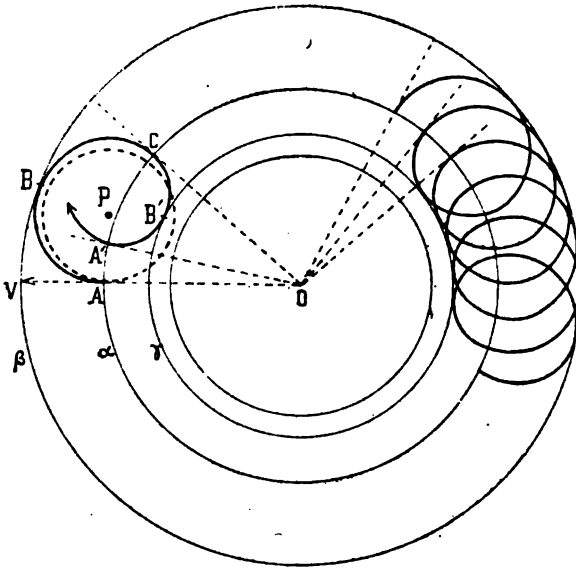


FIG. 9. — Construction de la spirale cathodique à double enroulement dans le plan équatorial d'un champ non uniforme produit entre deux pôles magnétiques.

Si le champ était uniforme, comme il est perpendiculaire au plan de la figure, le rayon s'enroulerait suivant une certaine circonférence de centre P, indiquée en pointillé. Mais, à mesure qu'il

s'éloigne de la ligne α , la force diminue, le rayon de courbure de la trajectoire augmente et celle-ci s'écarte de la circonférence P. Arrivé sur une certaine ligne β , en B, le projectile cathodique est dirigé tangentiellement à β et, continuant à tourner, il rencontre dans le sens croissant les champs qu'il avait, de A à B, traversés dans le sens décroissant. Le problème est analogue à celui du mirage, et l'arc décrit, BC, sera symétrique de AB par rapport à OB. Au point C, le rayon sera dirigé suivant CO, et la courbure en ce point sera la même qu'en A. Il est essentiel de remarquer que le point C doit être non sur la circonférence P, mais en dehors, comme le montre la figure. Si, en effet, on avait deux arcs AB, BC symétriques, tels que A et C soient sur la circonférence P, la courbure passerait en B par un maximum, tandis qu'elle y passe par un minimum. Le point C est donc en dehors de la circonférence, ce qui l'éloigne de A.

A partir de C, le rayon rencontre des champs plus intenses que le long de la ligne α , et croissants : la courbure de la trajectoire augmente jusqu'à un certain point B' où elle est maxima, puis décroît à mesure que le rayon revient vers la ligne α qu'il atteint en A' ; les deux arcs CB', B'A' sont symétriques et, au point A', le rayon se retrouve dans les conditions initiales. Mais il est décalé de la quantité AA'. Comme il n'y a aucun obstacle en ce point, il recommence une deuxième spire identique à la précédente, puis une troisième, et ainsi de suite indéfiniment ; c'est ce qui est représenté sur la même figure à droite.

Ainsi, tandis que, dans un champ uniforme, le projectile cathodique décrirait une circonférence et, en l'absence d'obstacles, recommencerait indéfiniment la même circonférence, il décrit ici une spirale particulière telle qu'après chaque tour complet le rayon est décalé d'une quantité constante ; autrement dit, la spirale ne se referme pas sur elle-même ; elle constitue un double enroulement : 1° autour du champ magnétique ; 2° autour de l'axe de ce champ (*fig. 10 et 11*).

Cette courbe peut être définie géométriquement d'une manière très simple : sa courbure est, en chaque point, proportionnelle au champ. Si on connaît la loi suivant laquelle le champ H varie en fonction de la distance ρ à l'axe,

$$H = f(\rho),$$

on doit avoir :

$$R = \frac{mV}{e \times f(\rho)}.$$

Au lieu de considérer un rayon partant d'un point tel que A dans

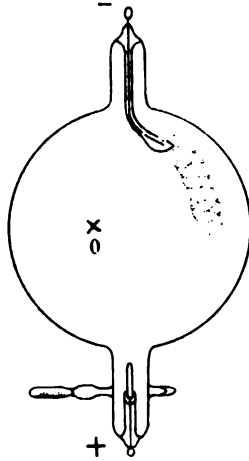


FIG. 10. — Réalisation de l'enroulement de la *fig. 9*. La cathode est analogue à *b* de la *fig. 5* ; la lame de mica, suffisamment prolongée, présente une petite ouverture correspondant au point A' de la *fig. 9* et servant à diaphragmer le rayon après une spire. Le pas de la spirale (distance AA') est ainsi imposé. On la réalise aisément en faisant varier la position de l'ampoule ou la valeur du courant magnétisant de l'électro-aimant. O, axe du champ.



FIG. 11. — Photographie de l'enroulement cathodique de la *fig. 9*.

une direction OV, on aurait pu le prendre dirigé d'une manière

quelconque. Le point d'émission n'étant pas autre chose qu'un point de la trajectoire, cela reviendrait à commencer la spirale précédente par un quelconque de ces points.

Considérons maintenant le cas beaucoup plus intéressant d'un rayon lancé obliquement dans un champ semblable au précédent.

Supposons, pour simplifier, la cathode dans le plan équatorial et le rayon lancé obliquement à ce plan, du côté d'un des pôles par conséquent. Si le champ était uniforme, après un tour complet le rayon rencontrerait de nouveau la ligne de force passant par le point d'émission. Mais, comme dans le cas précédent, le champ est plus intense près de l'axe que loin de cet axe. L'arc d'hélice extérieur s'allongera donc comme le faisait la courbe ABC de la *fig. 9* par rapport à la circonférence, puis deviendra plus serré comme l'arc CB'A' et, de même que le rayon ne repassait pas par A, il ne reviendra pas à la ligne de force initiale, il y aura un décalage : à chaque spire, ce décalage se reproduira, et le rayon s'écartera de la ligne de force en question.

En même temps ce rayon, avançant vers un pôle, rencontrera des champs de plus en plus intenses. Assimilons ce champ, sur une petite étendue, au champ divergent à lignes de force rectilignes produit par un pôle isolé. M. Poincaré a démontré que, dans ce cas, le rayon s'enroule suivant une ligne géodésique située sur un cône ; or une semblable ligne, après s'être rapprochée du sommet du cône, rebrousse chemin et s'en éloigne indéfiniment. Autrement dit, le pas de l'hélice diminue plus vite que son diamètre, devient nul sans que celui-ci le soit, puis devient négatif ; le corpuscule s'éloigne alors du pôle, et le diamètre des spires recommence à croître.

Dans le cas où les lignes de force convergentes sont courbes au lieu d'être rectilignes, nous pouvons sinon démontrer, du moins admettre qu'il y aura à la fois rebroussement et décalage de la trajectoire hélicoïdale de pas variable. Le premier phénomène prévu par la théorie de M. Poincaré résulte de la convergence des lignes de force, le second est dû, comme on l'a vu plus haut, à la plus grande intensité du champ près de son axe.

On entrevoit tout le parti qu'on pourra tirer de ce rebroussement des hélices cathodiques pour expliquer que l'aurore boréale n'aille pas jusqu'au pôle magnétique, qui reste entouré d'une zone sombre.

Le rayon s'enroulera ainsi en spires décroissantes sur une surface fusiforme oblique par rapport à la ligne de force passant par la cathode.

Cet enroulement s'arrêtera à une certaine distance du pôle, s'en éloignera ensuite, puis s'arrêtera de nouveau à la même distance de l'autre pôle, reviendra vers le premier, et ainsi de suite, sans que le rayon puisse rencontrer les parois de l'ampoule si celle-ci contient les pôles ou au



FIG. 12. — Enroulement cathodique dans le champ obtenu entre deux pôles d'électro-aimant. La trajectoire rebrousse chemin à une certaine distance du pôle dont s'approche le rayon. Le retour se fait obliquement par rapport à l'aller. Au-dessus de l'enroulement se voient deux faisceaux de rayons magnéto-cathodiques qui suivent les lignes de force, rectilignes en apparence par effet de perspective.

moins en est très près. Quant au décalage, il ne dépend que de la condensation du champ vers l'axe et, par suite, a lieu tout le temps dans le même sens, produisant comme pour la *fig. 9* un enroulement général centré sur l'axe de l'électro-aimant, et parcouru dans le sens des aiguilles d'une montre pour un observateur regardant suivant la direction du champ.



FIG. 13. — Calque de la photographie stéréoscopique d'un enroulement cathodique entre les pôles d'un électro-aimant.

On se représentera assez bien cette trajectoire en imaginant un long ressort en hélice qu'on replierait en zigzag, et qu'on poserait sur un

baril de manière à en faire le tour. La *fig. 12* montre un exemple de ce phénomène, on voit l'aller et le retour du rayon ainsi que le décalage (une lame de mica arrête le rayon après le premier aller et retour).

La *fig. 13* est le calque exact d'une photographie stéréoscopique de l'enroulement obtenu avec un faisceau très fin ⁽¹⁾.

Dans une ampoule un peu vaste, on observe aisément un nombre d'allers et de retours suffisant pour couvrir une surface faisant le tour complet de l'axe du champ ; la spirale cathodique, composée de rayons dont les vitesses et les directions diffèrent légèrement, s'étale bientôt, on ne voit plus que les tubes d'enroulement et l'aspect général est celui d'un baril lumineux dont les douves, séparées à leurs extrémités, se croiseraient en leurs milieux (voir *fig. 16, 17 et 18*).

THÉORIE DE L'AURORE BORÉALE.

Les particularités principales de l'aurore sont les suivantes.

L'aurore affecte généralement la forme d'un éventail composé de bandes lumineuses semblables à des faisceaux de projecteurs convergeant vers le pôle magnétique, mais s'arrêtant à distance de celui-ci, et s'appuyant en quelque sorte par leur extrémité sur un arc dont l'intérieur est sombre (*arc auroral*).

La base de chaque faisceau sur cet arc présente un renforcement notable. La longueur des rayons est variable ; souvent on les voit aller d'un pôle à l'autre.

Par instants, des mouvements se produisent dans l'aurore ; les rayons se déplacent le long de l'arc auroral comme si l'ensemble tournait tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, autour de l'axe magnétique du globe.

Parfois la base des rayons s'élève ou s'abaisse comme si chaque faisceau lumineux était animé d'un mouvement longitudinal (*danse des rayons*).

(1) La reproduction de l'épreuve en photogravure eût été mauvaise à cause de la faiblesse des spires d'ordre élevé, nécessairement un peu étalées et par suite moins brillantes que les premières. En outre, l'inévitable réseau a le défaut de supprimer l'effet stéréoscopique, à cause de l'aspect ponctué de l'image et du défaut de correspondance des points qui la composent. Le dessin au trait peut au contraire être reproduit sans trame ; celui-ci n'est d'ailleurs que le renforcement, à la plume, du positif véritable.

Il faut ajouter à cela les taches lumineuses dans le ciel (*plaques aurorales*).

Les phénomènes d'enroulement des rayons cathodiques dans un champ non uniforme permettent d'expliquer la plupart de ces aspects et même de discuter l'origine de l'énergie électrique du météore.

Si l'aurore est produite par des particules cathodiques émanant du Soleil, ces particules ne peuvent arriver à la Terre que si le champ magnétique solaire est négligeable. En effet, ce champ étant de révolution, les rayons cathodiques y produiraient l'enroulement composé en zigzag formant autour du Soleil une nappe de révolution dont les points d'émission feront partie, et les corpuscules devraient, à l'aller et au retour, passer à une distance de l'axe égale à celle du point d'émission, c'est-à-dire très près de la surface solaire. On peut se représenter la chose en imaginant que, dans la *fig. 9*, la circonférence qui est l'enveloppe intérieure de la spirale est l'équateur solaire.

Le diamètre des spires d'enroulement sera lui-même négligeable devant le diamètre du Soleil (dans un champ de $1/10$ d'unité, pour des particules ayant la vitesse de la lumière, ce diamètre serait de 300 mètres environ).

Ainsi le champ magnétique solaire est incompatible avec l'arrivée des particules cathodiques sur la Terre; l'hypothèse de l'origine solaire des rayons cathodiques nous oblige donc à admettre que ce champ est sensiblement nul, ce qui est possible, vu la température élevée de l'astre.

Supposons donc les particules cathodiques entrant dans le champ magnétique terrestre qui s'étend jusqu'au Soleil et au delà : leurs trajectoires s'enrouleront, donneront la nappe en zigzag ayant pour axe l'axe magnétique du globe et passant par le lieu d'émission, soit le Soleil. Le rayon de l'enveloppe extérieure de la nappe sera par suite égal à celui de l'orbite terrestre.

On pourra donc voir peut-être, très près des pôles, les extrémités de tous les faisceaux d'enroulement; mais comme, à chaque aller et retour, ils devront s'éloigner à une distance égale à celle du Soleil, s'ils ne sont pas absorbés en route, ils seront hors de l'atmosphère, dans un vide parfait, et invisibles. Comme il est certain que les aurores boréales ou australes peuvent donner des rayons qui, même à l'équateur, sont encore dans l'atmosphère terrestre, les rayons cathodiques qui les produisent ne peuvent venir directement du

Soleil, à moins de perturbations magnétiques cosmiques telles que les rayons soient captés par la Terre au moment où ils arrivent près de celle-ci.

Mais il est possible que ces particules d'origine solaire arrivent assez près des pôles terrestres pour rencontrer des cirrus, qui accompagnent toujours l'aurore.

Des cirrus peuvent être électrisés négativement, parce que les ions négatifs condensent la vapeur d'eau plus facilement que les ions positifs. Or j'ai observé récemment que des rayons cathodiques à grande vitesse frappant un objet quelconque électrisé négativement provoquent une abondante émission de rayons par le point frappé, même si, au voisinage de ce point, la chute de potentiel est par elle-même beaucoup trop faible pour produire spontanément une émission (120 volts suffisent). La vitesse de ces rayons correspond à la chute de potentiel en question. Les cirrus, formés d'aiguilles de glace électrisées négativement, constitueraient ainsi de vastes cathodes secondaires. L'émission produite, normale à l'ellipsoïde terrestre, serait oblique au champ magnétique et l'on serait dans les conditions voulues pour avoir l'enroulement composé déjà décrit. L'arrivée de particules électrisées provenant du Soleil n'est d'ailleurs pas nécessaire pour que les cirrus se déchargent. L'ultra-violet solaire, dont l'existence n'est pas douteuse, suffit à produire ce résultat : M. Buisson a en effet reconnu que la lumière ultra-violette décharge la glace électrisée négativement.

Rien n'empêche d'admettre l'existence d'autres causes excitatrices d'origine cosmique, radiations ou rayons. De même, on pourrait, au lieu de cirrus électrisés, imaginer des nuages de poussières cosmiques chargées d'électricité. Le vide interplanétaire étant isolant, ces poussières ne pourraient perdre leur charge qu'en rencontrant les couches supérieures de notre atmosphère. Cette décharge, que les radiations solaires faciliteraient, se produirait précisément à une hauteur où la raréfaction de l'air est semblable à celle qu'on réalise dans les ampoules de Crookes, et les rayons cathodiques produits dans ce milieu raréfié se propageraient sans obstacle à de grandes distances. Ces poussières, cause primitive de l'aurore, pourraient être celles que M. Arrhénius suppose nous être envoyées par le Soleil.

Ce sont d'ailleurs là de simples conjectures destinées à fixer les idées, mais étrangères à la théorie même de l'aurore. Cette théorie a

en effet pour but d'expliquer les caractères de l'aurore au moyen des propriétés des rayons cathodiques, et ces propriétés sont indépendantes de la nature de la source électrique. La seule chose que puisse indiquer l'étude électromagnétique de l'aurore est la région de l'espace où il conviendrait de rechercher la source en question. Cette région doit être très voisine de la Terre, et sans doute située dans notre atmosphère. Le lieu d'émission des corpuscules est en effet sur leurs trajectoires et, par suite, dans la nappe que celles-ci forment dans le champ terrestre. Or, d'après toutes les observations, cette nappe entoure la Terre à une distance qui, même à l'équateur magnétique, ne dépasse pas quelques centaines de kilomètres. Il est donc nécessaire que les rayons cathodiques auroraux soient d'origine terrestre, cette origine restant d'ailleurs provisoirement inconnue.

Nous n'avons ainsi à considérer que l'explication des aspects présentés par l'aurore, celle-ci étant supposée produite par des rayons émis dans notre atmosphère, la présence d'un gaz étant nécessaire pour qu'ils soient visibles.

Ces rayons sont soumis au champ terrestre, qui, malgré sa faible intensité, suffit à donner des enroulements qui n'ont pas 100 mètres de diamètre pour des corpuscules ayant la vitesse de la lumière. Or le champ terrestre présente une grande analogie de forme avec celui qu'on obtient entre deux pôles d'aimants : les lignes de force seront seulement rentrantes aux pôles, c'est-à-dire plus courbes, ce qui ne peut qu'exagérer les effets observés avec l'électro-aimant.

Considérons donc l'enroulement en zigzag de la *fig. 13* ; ce sera évidemment celui des rayons dans le champ terrestre dont la direction est généralement oblique au champ électrique de l'atmosphère. Mais, au lieu d'un point, nous aurons une large surface d'émission, un cirrus par exemple. Tous les rayons ainsi émis auront à peu près même vitesse et même direction ⁽¹⁾ et donneront des enroulements identiques dont l'ensemble formera un large faisceau dans lequel aucune spire ne sera évidemment visible. Ce faisceau, dont l'épaisseur sera le diamètre d'une spire, et la largeur celle du cirrus plus ce même diamètre, se comportera comme chacun des enroulements dont il est composé ; il se dirigera par exemple vers le Nord, un peu obliquement aux lignes de force, puis rebrousse chemin à une certaine distance du pôle pour repartir vers le Sud, la

(1) Ils seront, en effet, produits par le champ électrique terrestre.

nouvelle direction étant symétrique de la première par rapport à la force magnétique. Vers le pôle Sud, nouveau rebroussement, retour vers le Nord, avec décalage toujours dans le même sens, et, de nouveau, arrêt à la même distance du pôle que précédemment, puis encore départ vers le Sud, et ainsi de suite.

Aux points de rebroussements, qui sont à la même distance d'un pôle si le champ est de révolution, tous les filets cathodiques se replient sur eux-mêmes et l'expérience de la *fig. 13* montre que, même si les directions sont un peu différentes, le reploiement de la spirale ne change pas de position : comme, d'autre part, le pas des spirales tend vers zéro, il se produit une condensation de lumière, un renforcement très visible résultant du tassement des spires vers le lieu de rebroussement ⁽¹⁾.

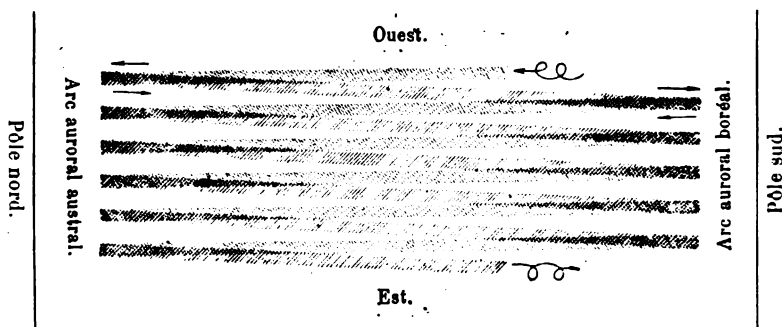


FIG. 14. — Nappe cathodique en zigzag représentée en planisphère et montrant la production des rayons et des arcs auroraux.

Représentons comme sur un planisphère (*fig. 14*) la nappe des rayons cathodiques. Le lieu des extrémités des faisceaux fusiformes (ayant comme convergence à peu près celle du champ) étant à une distance constante de chaque pôle (dépendant seulement de la convergence du champ près de ce pôle) sera un parallèle magnétique représenté ici par une droite. Ce sera l'*arc auroral* avec les renforcements signalés plus haut et observés dans l'aurore boréale.

La superposition partielle de l'aller et du retour de chaque fuseau (oblique au champ) constituera un faisceau résultant dont la

(1) Dans l'expérience de la *fig. 13*, le faisceau cathodique est devenu presque invisible, par suite de son étalement, au bout de dix ou douze spires, et l'on voit cependant très bien les boucles terminales correspondant à la vingtième ou vingt-cinquième spire.

direction moyenne sera évidemment celle du champ. Cette superposition doublant l'intensité lumineuse, ce sera surtout près des arcs auroraux que le météore sera visible. Nous avons ainsi les rayons auroraux disposés en éventail sur l'arc auroral, à l'intérieur duquel il n'y a rien, puisque les rayons cathodiques n'y peuvent pénétrer.

Si le pas du décalage, c'est-à-dire la distance des points homologues des spires de rebroussement de deux retours successifs, est supérieur à la largeur du faisceau d'ensemble, les rayons auroraux seront distincts : ce sera l'aurore classique en éventail. Si ce pas est moindre, il y aura superposition partielle de deux rayons auroraux voisins ; il en résultera des renforcements de lumière simulant les plis d'une draperie (*aurora en draperies*).

Quel que soit le lieu d'émission, le sens de l'enroulement composé est celui des aiguilles d'une montre pour un observateur regardant le Nord magnétique : c'est le sens de rotation de la Terre. Si donc on avance vers l'Est, on rencontrera des fuseaux cathodiques dont le numéro d'ordre sera de plus en plus élevé, et qui, par suite de la déperdition d'énergie sous forme de lumière, seront de plus en plus faibles, jusqu'à évanouissement complet après une fraction plus ou moins grande du tour de la Terre.

Supposons que l'émission ait lieu sous l'influence d'un rayonnement solaire (l'ultra-violet par exemple) ; l'aurore commencera dans l'hémisphère éclairé, et s'avancera vers l'Est en s'affaiblissant ; en abordant l'hémisphère obscur, elle deviendra visible, et le côté de cet hémisphère pour lequel le Soleil vient de se coucher sera évidemment le lieu où l'on verra les fuseaux d'ordre peu élevé, c'est-à-dire les plus brillants. Ce sera donc aussitôt après le coucher du Soleil qu'on aura le plus de chances de voir une aurore boréale, car, à mesure que la Terre tournera, entraînant l'observateur vers l'Est, il faudra, pour arriver jusqu'à lui, des aurores de plus en plus intenses et, partant, plus exceptionnelles. Or cette conséquence de la théorie est entièrement conforme à l'observation, et elle permet de décider si l'aurore est due à des rayons cathodiques ou à des rayons chargés positivement. Ces derniers suivraient dans l'espace des trajectoires tout à fait semblables à celles qui ont été indiquées plus haut : les spires seraient simplement de plus grand diamètre. Mais le sens de description de la nappe formée par ces trajectoires serait inverse et progresserait de l'Est à l'Ouest ; ce serait donc avant le lever du Soleil, et non après son coucher, que les aurores seraient le plus

souvent visibles. Or il n'en est rien, et nous en devons conclure que c'est bien aux rayons cathodiques qu'il convient de s'adresser pour expliquer les faits observés, ce qui n'était nullement démontré.

Supposons maintenant une perturbation magnétique ayant pour effet de changer localement la convergence du champ vers le pôle. Aussitôt le point de rebroussement du fuseau cathodique s'éloignera ou se rapprochera du pôle ; on aura le mouvement longitudinal de la *danse des rayons*.

Si, au contraire, on modifie *soit la vitesse des rayons* (différence de potentiel motrice), *soit l'intensité du champ*, les spires cathodiques se resserrent par exemple de 10 0/0 (champ plus intense ou vitesse moindre), mais, en même temps, les fuseaux se rapprochent ; celui qui part du lieu d'émission reste à peu près fixe ; son diamètre, égal à la largeur du cirrus plus celle d'une spire, change à peine ; le second se rapproche du premier de 10 0/0 ; le troisième se déplace deux fois plus, et ainsi de suite : on verra donc les bases des fuseaux courir le long de l'arc auroral par une véritable rotation autour de l'axe magnétique, rotation dont on se fera une idée exacte en imaginant que, sur la *fig. 14*, on resserre tous les fuseaux à la manière de ces appliques extensibles formées d'entretoises en losanges.

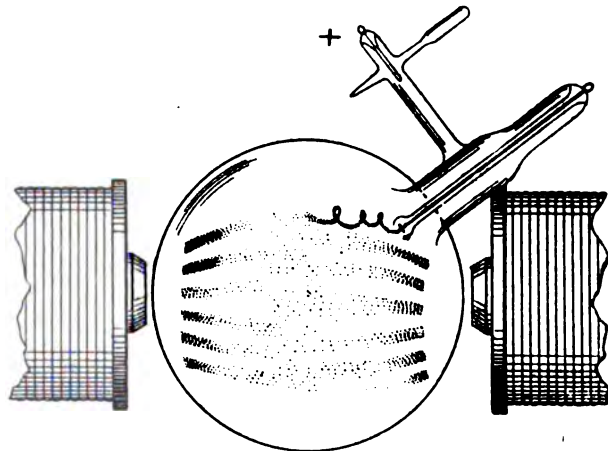


FIG. 15. — Expérience réalisant l'enroulement composé en zigzag (aurore artificielle).

Ce phénomène est facile à reproduire dans un grand ballon placé entre les pôles d'un électro-aimant (*fig. 15*) et dans lequel on pro-

duit des rayons cathodiques en un point dans une direction convenable. On a la nappe déjà décrite et, si l'on fait varier le champ, cette nappe, sans changer de forme ni de diamètre, s'enroule ou se déroule à volonté autour de son axe, chaque fuseau se déplaçant proportionnellement à son numéro d'ordre. Le phénomène est encore plus saisissant si la source électrique est un alternateur présentant un peu de *pompage*, d'où résultent des variations périodiques de voltage qui

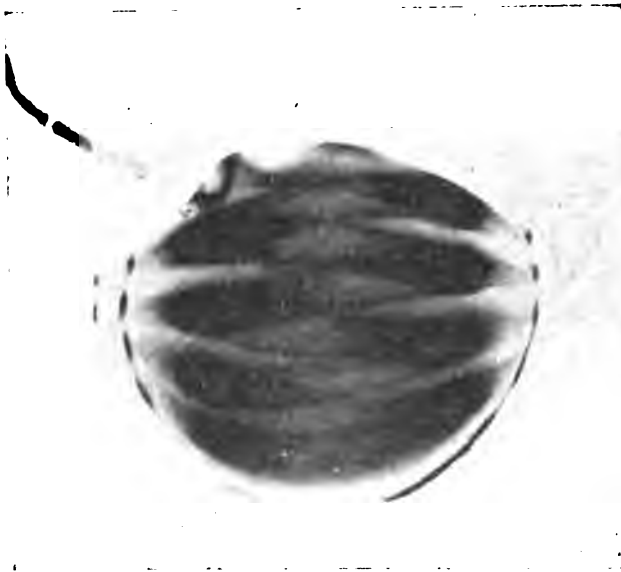


FIG. 16. — Nappe cathodique en zigzag limitée par deux parallèles magnétiques. En haut à gauche, le départ du faisceau cathodique. Le ballon est fortement décentré par rapport à l'électro-aimant pour augmenter le décalage en zigzag, qui est d'autant plus marqué que le champ est moins uniforme. La nappe, de rayon plus grand que le ballon, est arrêtée par la paroi après un demi-tour, ce qui supprime le fond lumineux qu'elle formerait en remontant de l'autre côté de l'axe.

modifient la vitesse cathodique et produisent la rotation de l'aurore artificielle. Cette rotation n'est donc qu'un phénomène de *pompage* naturel du champ terrestre ou du potentiel atmosphérique. C'est à la seconde cause qu'il faut attribuer les mouvements auroraux qui ne sont pas accompagnés d'une variation de l'intensité magnétique.

La *danse des rayons* s'obtient aisément, dans l'expérience précé-

dente, au moyen d'une tige de fer qu'on approche et éloigne alternativement d'un des arcs auroraux. La présence de cette tige produit une perturbation magnétique qui allonge en quelque sorte le pôle voisin et augmente localement la convergence des lignes de force ; il en résulte un déplacement du point de rebroussement du faisceau correspondant ou, si l'on veut, une déformation de l'arc auroral, qui est une ligne équipotentielle magnétique. On reproduit d'une manière analogue le *ruissellement* de l'aurore, par le mouvement des spires enchevêtrées.

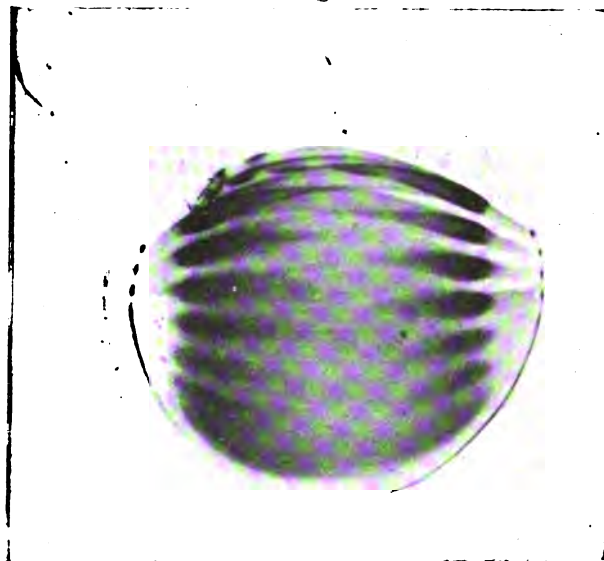


FIG. 17. — Même expérience avec un champ plus intense, donnant un grand nombre de zigzags dans un demi-tour de la nappe cathodique.

Les *fig.* 16 et 17 montrent cette nappe cathodique en zigzag et la transformation qu'elle subit quand on augmente l'intensité du champ (ou quand on diminue la vitesse des rayons). Dans la *fig.* 18, le ballon a été centré sur l'axe du champ, la nappe se referme alors sur elle-même, et aucun rayon cathodique ne peut atteindre les parois.

La *fig.* 19 a été obtenue en photographiant la nappe cathodique d'un point situé au voisinage de son centre : l'objectif était ainsi placé à peu près comme l'œil d'un observateur regardant une aurore boréale. On reconnaît immédiatement l'aspect de l'aurore classique

en éventail, et le renforcement des rayons sur l'arc auroral est parfait.



FIG. 18. — Nappe cathodique obtenue en plaçant le centre du ballon sur l'axe du champ magnétique. La nappe fait alors le tour complet du ballon.

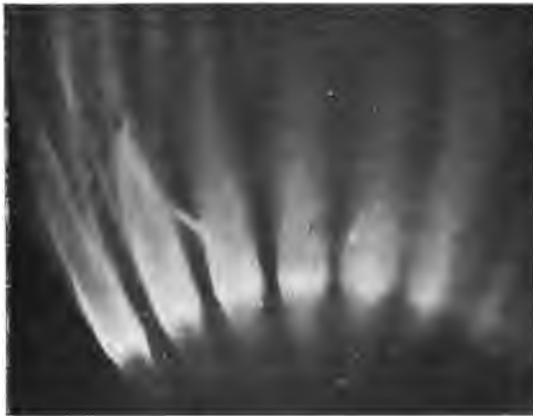


FIG. 19. — Aurore artificielle. Vue de la nappe cathodique précédente prise d'un point situé à son intérieur et dans une direction inclinée à 45° environ sur l'axe. L'origine des rayons est à gauche en dehors de la figure.

tement visible, ainsi que l'affaiblissement progressif du phénomène

d'un bord à l'autre de la figure (de l'Ouest à l'Est dans le phénomène naturel). A l'intérieur de l'arc auroral se voient de faibles faisceaux magnéto-cathodiques⁽¹⁾, inévitables dans un champ intense.

Ainsi cette étude de l'électromagnétisme cathodique conduit non seulement à une explication vraisemblable d'un phénomène naturel remarquable, mais à la possibilité d'en discuter l'origine terrestre ou cosmique.

**SUR QUELQUES MODES ÉLECTRIQUES D'ENTRETIEN DU PENDULE.
PENDULE SANS LIEN MATÉRIEL ⁽²⁾;**

Par M. CH. FÉRY.

Il est superflu d'insister sur l'intérêt considérable qui s'attache à la mesure précise du temps, unité fondamentale de tout système de mesures. A part les applications à la navigation, c'est toujours au pendule qu'on s'adresse comme organe régulateur dans les mécanismes ayant pour objet cette mesure, et cela grâce à sa précieuse propriété d'être isochrone pour de petits arcs. Cette propriété indispensable de l'organe régulateur n'est obtenue que difficilement et par tâtonnements dans le balancier circulaire des chronomètres de marine, seuls utilisables à la mer.

Mais il ne faut pas oublier que cette qualité fondamentale du pendule n'existe que si ce dernier est complètement libre, et tous les efforts des constructeurs tendent à disposer l'échappement de manière à satisfaire à cette condition.

M. Lippmann a indiqué d'une manière précise les conditions à remplir pour l'entretien du pendule, sans perturbations; malheureusement il est bien difficile mécaniquement d'y satisfaire

⁽¹⁾ Ces rayons particuliers, qui prennent naissance dans des champs très intenses et peuvent partir même d'une anode, pourvu qu'elle soit voisine de la cathode, suivent les lignes de force jusqu'aux pôles. D'autre part, ils peuvent être émis non seulement par une électrode ou objet voisin d'une cathode, mais par tous les points d'un faisceau cathodique placé dans un champ convenable. Après un trajet plus ou moins long, ce faisceau finit par se résoudre presque complètement en rayons magnéto-cathodiques.

⁽²⁾ Séance du 1^{er} mai 1908.

et les petites perturbations éprouvées encore par les horloges soustraites aux variations thermiques et barométriques sont-elles invariablement attribuées par les constructeurs aux variations des frottements mécaniques éprouvés par le pendule pendant son oscillation. Les huiles de graissage qui rancissent et s'oxydent avec le temps sont la cause la plus fréquente de ces petites perturbations, qui peuvent d'ailleurs être rendues inférieures à $0^{\circ},1$ par jour.

A première vue, l'emploi de l'électricité semble tout indiqué pour restituer à l'organe oscillant l'énergie qu'il perd sans cesse par suite des frottements divers auxquels il est soumis : frottements mécaniques, amortissement dû à l'air, travail perdu dans la suspension, etc.

A première vue aussi, il semble qu'une bonne marche sera forcément obtenue si on restitue au pendule un travail constant à chaque oscillation. C'est cette considération qui m'a guidé dans les deux premiers dispositifs électriques que j'ai réalisés.

Pendule à réaction indirecte. — Le premier pendule électrique que j'ai étudié est du type dit à « réaction indirecte ⁽¹⁾ » ; le principe de ce type d'appareils, qui a tenté un grand nombre d'inventeurs ⁽²⁾, consiste à restituer au pendule, à chaque oscillation, une quantité bien limitée de travail et *indépendante* de l'énergie électrique fournie au système.

La *fig. 1* fera comprendre facilement comment ce résultat peut être atteint :

Lorsque la vis v' , portée par un bras solidaire du pendule, vient rencontrer le levier op , le courant est lancé dans l'électro-aimant E qui rappelle son armature. Le pendule, continuant son oscillation, soulève le poids p d'une hauteur h ; mais, au retour, ce poids descend d'une quantité $h + c$, c étant la course de l'électro-aimant. Il en résulte que le pendule a reçu un travail positif égal à pc , lequel est constant et indépendant de la vitesse avec laquelle l'armature de l'électro est attirée.

Ainsi construit, cet appareil ne m'a fourni que des résultats déplorables ; mais son étude m'a conduit à des notions très nettes sur les conditions à remplir pour réaliser un entretien correct du pendule.

(1) Brevet français n° 254.092 ; 1896.

(2) MM. Vérité, Detouche, Garnier, Grasset, Lasseau, Gérard, Liais, Geist, Kramer, etc..., ont combiné des pendules basés sur ce principe.

Le soulèvement du levier op produit tout d'abord une perturbation profonde de l'isochronisme du système, et la moindre variation de l'ébat de la palette de l'électro se traduit par une variation considérable dans la marche. A tel point que les variations de courant dans l'électro, qui peuvent changer légèrement la position de l'armature au contact, se font sentir d'une manière très nette.

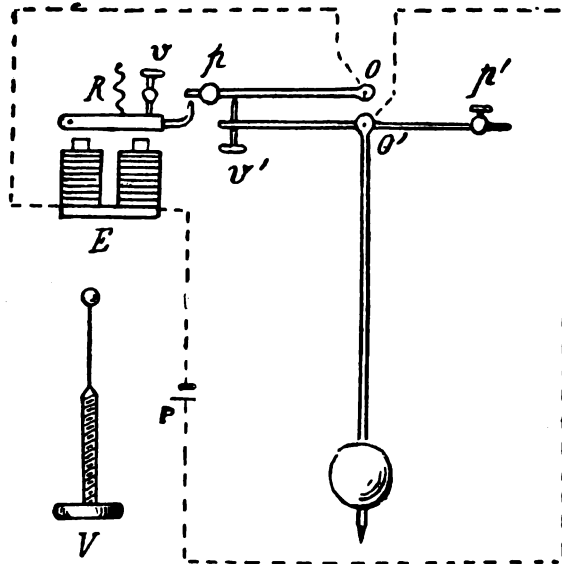


FIG. 1.

D'autre part, en insérant un téléphone dans le circuit, on entend le bruit bien connu de « friture » pendant toute la durée du passage du courant.

Ceci provient du léger glissement qui se produit au contact de la vis v' avec le levier op pendant le soulèvement de ce dernier. En effet, on ne peut jamais obtenir une concordance absolue des deux centres d'oscillation o et o' , et le grippement du contact qui ne peut être lubrifié fait naître un frottement éminemment variable qui perturbe complètement la marche.

En constituant la suspension par trois lames de ressort identiques, les deux lames extérieures supportant le pendule, et la lame centrale le levier op , j'avais espéré supprimer cette cause d'erreur. Il

n'en a rien été, et le téléphone m'a montré qu'il se produirait encore un frottement au point de contact.

Ce n'est qu'en remplaçant la vis v' par une vis V représentée à part (fig. 31), et terminée par un fil d'acier de $0^{\text{mm}},1$ portant à son extrémité une petite boule en or, que cette perturbation a cessé. On comprend en effet que, dans ces conditions, le fil d'acier, flexible dans toutes les directions qui lui sont perpendiculaires, s'oppose à tout glissement au point de contact; dans ces conditions, on obtient des variations n'atteignant que 7 sur 100 000, ce qui représente encore cinq ou six secondes par jour.

Pendule à restitution électrique constante. — C'est dans le but d'échapper aux inconvénients signalés précédemment, tout en conservant les avantages de l'impulsion constante, déjà connue en horlogerie mécanique sous le nom de *remontoir à égalité d'arc*, que j'ai combiné quelques années plus tard ⁽¹⁾ un dispositif qui a figuré à l'Exposition de Paris de 1900. J'ai abandonné dans cet appareil l'électro-aimant comme organe moteur et l'ai remplacé par l'action électromagnétique d'une bobine fixe B sur le pôle N d'un aimant formant une partie de la masse pendulaire (fig. 2).

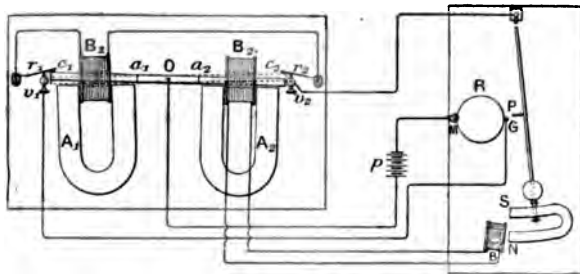


FIG. 2.

Cornu avait déjà employé cet excellent dispositif pour la synchronisation des horloges ⁽²⁾, mais l'aimant dont il se servait était un simple barreau droit.

La substitution d'un aimant en fer à cheval à un aimant droit présente quelques avantages faciles à saisir. D'abord un tel aimant

⁽¹⁾ Pendule à restitution électrique (*Comptes Rendus*, 7 mai 1900).

⁽²⁾ *Comptes Rendus des séances de la Société des électriciens : la Synchronisation électromagnétique* (1887).

se conserve beaucoup mieux avec le temps à cause de sa plus faible réluctance ; ensuite le champ auquel est soumise la bobine est plus intense pour un aimant de poids donné ; enfin les variations de la verticale dues à des champs constants extérieurs ou les perturbations qui peuvent prendre naissance par des champs variables sont à peu près annulées par suite de l'astaticité d'un tel aimant.

C'est cette disposition que j'ai adoptée dans tous les systèmes que j'ai étudiés depuis.

L'entretien du pendule se fait ici par des courants *induits* dus au déplacement d'une palette de fer doux a_2c_2 (*fig. 2*) dans une bobine fixe B_2 . La palette, qui peut recevoir un mouvement alternatif en oscillant autour du point O, s'approche ou s'éloigne en effet de l'aimant fixe A_2 . Cette disposition rappelle un peu l'appareil classique bien connu sous le nom de « Coup de poing de Bréguet », employé pour l'explosion des mines.

Une caractéristique intéressante de ce dispositif est que la quantité d'électricité induite dans la bobine B_2 est *indépendante* de la vitesse d'attraction de la palette. Le pendule devient analogue à un *galvanomètre balistique* dont l'élongation (ici l'amplitude) mesure la quantité d'électricité qui passe dans la bobine.

Les mouvements de va-et-vient de la palette a_2c_2 , qui doivent être synchrones avec le mouvement du pendule, étaient obtenus par une seconde palette a_1c_1 , placée dans le prolongement de la première, dont elle est magnétiquement isolée, et qui réagissait sur l'aimant A_1 , lorsque le courant de la bobine B_1 , dans laquelle elle oscillait librement, circulait dans cette dernière.

En somme, la partie gauche du « restituteur » constituait un « relais polarisé » actionné par les contacts alternés fournis par le pendule et la pile p , et la partie droite, analogue à un coup de poing Bréguet, lançait les courants induits qu'elle produisait dans la bobine B réagissant directement sur le fer à cheval SN du balancier.

Sans entrer dans le détail du montage électrique qu'il est facile de suivre sur la figure, et disposé de manière à produire des attractions et répulsions alternatives de la palette en synchronisme avec le mouvement pendulaire, j'insisterai seulement sur le ressort R destiné à commander les émissions du courant moteur.

Ce ressort, constitué par une lame très mince d'acier destinée à la construction des spiraux de chronomètres de marine, était recourbé en forme de cercle.

Dans la position du pendule représentée par la *fig. 2*, il reposait sur une goupille G réglable. Au contraire, dans la demi-oscillation gauche du pendule, c'est à ce dernier qu'il amenait le courant de la pile *p*.

La forme même de ce ressort lui permettait de suivre le pendule dans tous ses mouvements *et rendait impossible tout frottement au point de contact*.

Des essais faits aux observatoires de Paris et de Hambourg, il résulte que les erreurs diurnes sont de l'ordre de 1 seconde par jour, soit une précision de 1 sur 100 000 environ.

Pendule à échappement libre. — Dans les deux pendules précédents, il est nécessaire, pour suivre la marche de l'appareil, de lui faire commander à distance une seconde horloge munie de la minuterie indispensable.

C'est ce qui est fait habituellement dans les observatoires, afin de ne pas perturber le pendule régulateur étalon.

J'ai employé moi-même à l'Observatoire de Paris, dans ce but, d'abord une horloge de Hipp dont le principe est trop connu pour qu'il soit nécessaire de le rappeler ici, puis une horloge du type de la *fig. 3*, que je venais de réaliser pour l'usage civil⁽¹⁾ et qui a permis à M. Bigourdan, astronome, de suivre la marche du précédent pendule (*fig. 2*).

Cette troisième horloge (*fig. 3*), sans pouvoir espérer atteindre une précision aussi grande que les pendules précédemment décrits qui ne commandent pas de rouages, est caractérisée par la combinaison de l'aimant en fer à cheval et de la bobine fixe avec un échappement du type connu en horlogerie sous le nom d'échappement à « coup perdu », c'est-à-dire n'utilisant qu'une des demi-oscillations du balancier pour faire progresser la minuterie.

Il appartient à la catégorie des balanciers à réaction directe, la constance de l'impulsion dépendant de celle de la pile qui l'actionne. Mais, d'autre part, à cause de l'excellent rendement du système électro-magnétique, qui est voisin de 80 0/0, la dépense électrique est très faible, ce qui permet d'employer pour son entretien une

(1) Brevet français du 1^{er} août 1901, n° 313.144, et *Comptes Rendus de l'Académie*, 23 janvier 1905. — Ce sont des horloges construites d'après ce brevet qui sont à l'essai sur plusieurs lignes de chemins de fer et au métropolitain de Paris sous le nom : « Électriques Vigreux-Brillié ». Elles y sont utilisées tant comme transmettrices que comme réceptrices.

Pendule sans lien matériel. — L'une des causes les plus généralement invoquées pour expliquer les variations du pendule à entretien mécanique soustrait aux perturbations thermiques et barométriques est l'inconstance des frottements mécaniques : le rancissement de l'huile de graissage et les variations de l'état hygrométrique de l'air ⁽¹⁾ changent en effet le rendement du rouage, qui ne transmet normalement au balancier que 50 0/0 du travail dû à la chute du poids moteur.

Pendant les pendules électriques présentent de leur côté un certain nombre d'inconvénients qui leur sont inhérents : en effet, l'organe oscillant commande le contact nécessaire à son entretien ; or ces contacts ne pouvant être lubrifiés deviennent le siège de coincements très préjudiciables à une bonne marche. Les efforts dus au soulèvement du ressort ou du poids chargé d'assurer le contact perturbent en outre d'une façon profonde l'isochronisme du pendule, qui devient ainsi très sensible aux moindres variations d'amplitude, ainsi que je l'ai remarqué dès 1896.

Ces défauts généraux des pendules électriques étaient bien connus du regretté *Cornu*, qui appelait plaisamment l'horlogerie électrique : la rougeole des physiciens. Aussi, après une étude prolongée de cette question, s'était-il résolu à n'employer le courant électrique que pour maintenir d'accord avec une *pendule étalon* un certain nombre d'horloges dites *horloges secondaires réceptrices* et appelées par abréviation *récepteurs*. C'est ce procédé, dit de synchronisation, qui est utilisé dans les diverses salles d'observatoire ou pour maintenir en concordance les centres horaires des grandes villes.

Le pendule est avant tout un organe régulateur ; il faut y toucher le moins possible et lui demander le minimum d'efforts, si on veut en obtenir le maximum de régularité.

C'est pour réaliser aussi complètement que possible ces conditions que j'ai combiné un pendule d'un principe complètement nouveau ⁽²⁾ et que j'observe depuis bientôt deux ans dans mon laboratoire (*fig. 5*).

⁽¹⁾ Une horloge astronomique dont l'air de la caisse est complètement desséché par de l'acide sulfurique s'arrête généralement, à cause des grippements qui prennent naissance entre les rouages et les pignons.

⁽²⁾ Brevet allemand 194.317 du 21 mars 1907.

Il est caractérisé par le fait qu'il ne touche aucun corps solide pendant son oscillation.

La caractéristique nouvelle de mon dispositif réside dans le fait que le pôle libre de l'aimant oscille librement dans un anneau de cuivre rouge C (fig. 4), formant la masse d'un petit pendule auxiliaire ayant la même durée d'oscillation que le pendule principal.

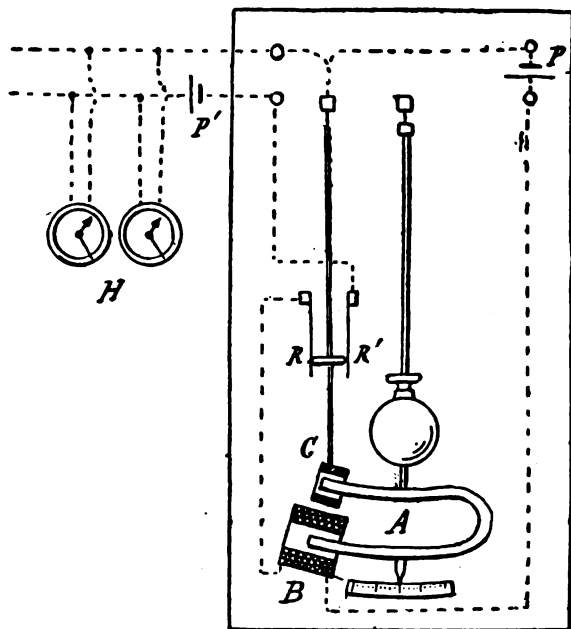


FIG. 4.

Un décalage de $1/4$ de période se produit naturellement entre les oscillations des deux pendules, le pendule auxiliaire étant entraîné par la réaction sur l'aimant des courants induits qui prennent naissance dans la masse conductrice C. Le pendule principal n'est ainsi soumis qu'aux seuls frottements de l'air et de cet amortissement magnétique, tous deux constants.

C'est ce pendule auxiliaire qui est chargé de commander les deux contacts R et R', dont le premier ferme sur la bobine d'entretien B le courant d'une pile constante P ⁽¹⁾, et l'autre actionne ou synchro-

⁽¹⁾ La dépense annuelle, voisine de 1 watt-heure, permet d'employer pour cet entretien une pile-étalon quelconque convenablement disposée.

nise par la pile P' les récepteurs H, qui totalisent les oscillations du balancier A.

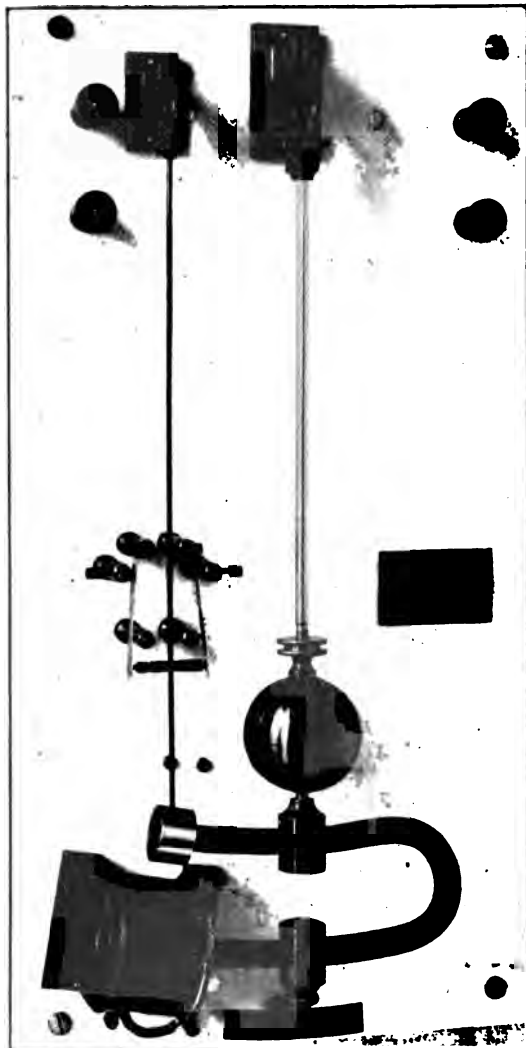


FIG. 5.

Ce pendule convenablement réglé jouit de la propriété intéressante de se mettre en marche dès qu'on ferme ses bornes sur une pile, ce

qui permet de le disposer sous une cloche à pression constante même dans un endroit peu accessible (une cave à température constante, par exemple). La *fig. 5* est une vue d'ensemble de l'appareil.

**PHOTOMÈTRE A LECTURE DIRECTE.
RENDEMENT OPTIQUE DE QUELQUES LUMÉNAIRES ⁽¹⁾ ;**

Par M. CH. FÉRY.

Principe de la méthode. — De nombreuses tentatives ont été faites pour effectuer les comparaisons photométriques sans le secours de l'œil. Il est malheureusement difficile de trouver un dispositif ayant sa sensibilité dans la même région du spectre que la rétine. Cette remarque explique pourquoi les actions chimiques de la lumière, la variation de résistance électrique du sélénium éclairé, etc., ne peuvent fournir que des résultats erronés.

La mesure de l'énergie totale de la radiation versée par une source lumineuse ne donnerait pas de meilleurs résultats, mais il n'en est plus de même si, par un artifice quelconque, *on ne laisse passer, de chaque radiation élémentaire du faisceau, qu'une quantité proportionnelle à son activité sur la rétine.*

L'absorption devra être complète dans l'ultra-violet et l'infra-rouge et nulle pour la longueur d'onde de Langley 0^m,54. Pour les autres radiations, on pourra employer les facteurs d'illuminations indiqués par Macé de Lépinay et Nicati ⁽²⁾.

Pour faire cette sélection des radiations inactives sur l'œil, on pourrait disposer, dans le spectre de la source en étude, un écran limitant la hauteur du spectre en chaque point. Cet écran devrait avoir la forme de la courbe de sensibilité rétinienne en fonction de la longueur d'onde, on concentrerait ensuite toutes ces radiations sur l'appareil de mesure.

Plus simplement on peut s'adresser à une cuve absorbante.

Des essais nombreux m'ont montré que la plupart des solutions colorées en vert présentent une absorption insuffisante dans l'infra-rouge ; au contraire, les sels de cuivre, et en particulier l'acétate, constituent des filtres parfaits.

⁽¹⁾ Séance du 1^{er} mai 1908.

⁽²⁾ *J. de Phys.*, 2^e série, t. II, p. 64 ; 1883.

En faisant varier la concentration d'une solution d'acétate de cuivre, on déplace le maximum d'énergie et on peut l'amener à coïncider avec 0°,54.

A ce moment l'expérience montre qu'il ne passe plus que 0,1 à 0,4 0/0 (bec Bengel et bec Auer) de l'énergie totale.

Le problème était donc ramené à réaliser un dispositif bolométrique suffisamment sensible pour apprécier encore cette faible énergie, et cependant assez robuste pour trouver place dans la salle d'essais photométriques.

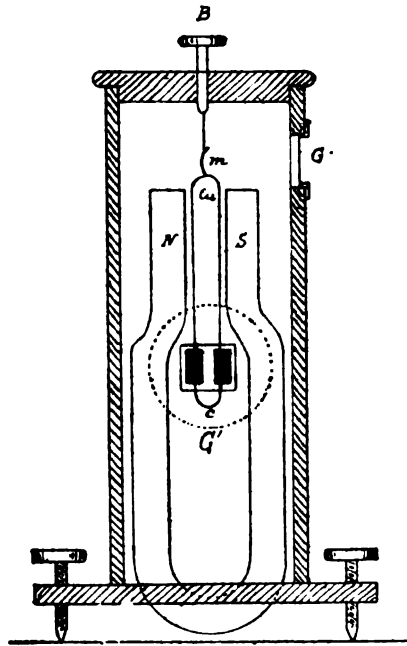


FIG. 1.

L'expérience montre que l'excellent appareil de M. C.-V. Boys, connu sous le nom de *radio-micromètre*, peut être disposé de manière à répondre à ces conditions :

Un cadre cuivre-constantan (*fig.1*) est suspendu par une lame très mince de bronze phosphoreux dans le champ d'un aimant NS. Les deux soudures du couple, placées à la même hauteur et côte à côte, sont constituées par deux lames d'argent de 0^{mm},3 d'épaisseur et

ayant 6×12 millimètres. L'une des faces de ces lames est noircie au noir de platine et l'autre polie.

Ainsi disposé, le système donne 300 millimètres de déviation sur une échelle placée à 2 mètres quand une des soudures reçoit 1 bougie-mètre (ceci sans interposition d'aucun milieu autre que l'air entre la source et la soudure).

Mais l'interposition de la cuve absorbante réduit la sensibilité dans des proportions considérables.

Étude de la cuve absorbante. — Voici d'abord quelques résultats relatifs à une cuve d'eau dont on fait varier l'épaisseur (la source de radiations était un bec Bengel) :

Épaisseur de la cuve	Déviation
2 centimètres	463 millimètres
3 —	98 —
7 —	46 —
14 —	30 —

En portant en abscisses les épaisseurs de cuve, et en ordonnées les déviations, on remarque qu'à partir de 3 centimètres l'absorption augmente bien peu avec l'épaisseur. J'ai choisi une cuve de 4 centimètres qui n'est pas encore très encombrante et qui permet d'absorber déjà, grâce à l'eau seule, la majeure partie des radiations obscures.

Pour faire un choix entre les divers sels de cuivre, j'ai opéré de la manière suivante : je dissolvais 1 gramme d'hydrate d'oxyde de cuivre dans les divers acides que je voulais étudier, de manière à obtenir une solution aussi neutre que possible.

Sous une épaisseur uniforme de 2 centimètres, et pour un volume de 30 centimètres cubes de solution, les résultats ont été les suivants :

	Déviation
Azotate de cuivre.....	13 millimètres
Sulfate.....	14 —
Chlorure.....	13 —
Acétate.....	3 —

L'eau sous la même épaisseur donnait avec la même source (bec Bengel) 330 millimètres.

En étendant à 100 centimètres cubes, on trouve dans les mêmes conditions :

Azotate.....	27 millimètres
Sulfate.....	28 —
Chlorure	23 —
Acétate.....	12 —

Enfin, en amenant le volume à 200 centimètres cubes :

Azotate.....	77 millimètres
Sulfate	79 —
Chlorure	67 —
Acétate.....	40 —

Et cependant l'acide acétique est plus diathermane que l'eau, puisque le spot sort des limites de l'échelle en emplissant la cuve avec ce liquide.

Une solution à 50 0/0 d'acide acétique cristallisable et 50 0/0 d'eau donne 370 millimètres, plus que l'eau pure.

Une expérience très simple montre l'énorme absorption des sels de cuivre pour les radiations de grande longueur d'onde : 1 gramme de cuivre est dissous dans la quantité exactement nécessaire d'acide azotique, puis on étend à 1 000 centimètres cubes.

La déviation donnée par ce liquide dont la coloration est à peine sensible est de 270 millimètres.

L'eau pure donne sous la même épaisseur de 2 centimètres et dans les mêmes conditions (bec Bengel) 350 millimètres ; soit la différence très notable de 80 millimètres pour la faible concentration indiquée.

La nature du dissolvant de l'acétate de cuivre joue un rôle important, comme le montre l'expérience suivante :

On a amené à un même volume un volume fixe d'une solution très concentrée de ce sel :

1° Par H ² O.....	$\delta = 114$ millimètres
2° — acide acétique.....	= 62 —
3° — ammoniacque.....	= 212 —
4° — alcool.....	= 32 —

La solution alcoolique est verte, celle dans l'eau bleu vert et celle dans l'ammoniacque bleu très foncé.

A part le cas de l'ammoniacque, les déplacements des bandes

d'absorption s'expliquent sans doute par des phénomènes d'ionisation.

Emploi d'une lentille de concentration. — L'emploi d'une lentille est donc indispensable pour rendre à l'appareil la sensibilité que lui fait perdre l'énorme absorption de la cuve.

Je me suis rendu rapidement compte que ni la position de l'image sur la plaquette-soudure du cadre de l'appareil ni la netteté de cette image n'intervenaient dans le résultat, *pourvu que tout le faisceau soit occulté par cette plaquette.*

Pour rendre le réglage plus commode, on a collé au dos des deux lamelles d'argent aussi identiques que possible une feuille de papier qui permet de voir s'il ne tombe pas de lumière en dehors de la surface noircie. Cette feuille de papier sert à une mise au point approchée de l'image, quand on fait tomber cette dernière entre les deux soudures. Enfin, pour éviter autant que possible le rayonnement par l'envers des lames d'argent, ce papier est recouvert, du côté non collé aux lames, d'une mince couche d'étain brillant.

Détails de construction de l'appareil. — Description des mesures. — Deux précautions sont indispensables à observer, si on veut avoir un zéro présentant quelque stabilité avec un appareil d'une sensibilité aussi grande que celle du radio-micromètre ⁽¹⁾.

La première est de disposer dans un même plan horizontal les deux soudures de l'instrument, car si on agit autrement les couches d'air qui se rangent toujours par ordre de densité sous la cloche de l'instrument donneraient à l'appareil une déviation variable avec la température de la salle.

La deuxième précaution est d'employer, comme couvercle du système, une cloche épaisse en cuivre rouge dont la bonne conductibilité calorifique tend à former une enceinte isotherme, malgré les rayonnements parasites qui peuvent frapper l'instrument.

Les causes qui limitent la sensibilité du radio-micromètre sont tout d'abord l'amortissement : un cadre de trop faible résistance, suspendu par un fil de torque insuffisant, se déplacera avec une extrême lenteur et les mesures ne présenteront aucune sûreté.

(1) M. Duddell a tiré un parti extrêmement habile de cet appareil, dont il a pu faire un *oscillographe thermique* qui permet de mesurer avec facilité l'intensité des courants les plus faibles, même périodiques, tels que ceux qui prennent naissance dans le téléphone [DUDDELL, *Mesure des petits courants alternatifs de haute fréquence par le « Thermogalvanomètre »* (Bulletin de Séances, 1904 et Journal de Physique, t. IV, 4^e série, p. 3 ; 1905)].

Ensuite, malgré les précautions sur lesquelles je viens d'appeler l'attention, le zéro de l'appareil se déplace lentement sur l'échelle avec une vitesse ne dépassant jamais quelques millimètres par minute.

C'est afin d'éliminer cette dernière cause d'erreur que j'ai toujours employé une méthode utilisant *alternativement* les deux plaquettes comme soudure chaude, ce qui a en outre l'avantage de doubler la déviation.

Dans ce but, la lentille L (fig. 2) peut être déplacée à distance par deux poires en caoutchouc (fig. 3), de manière à amener l'image successivement sur les deux soudures.

En faisant cette manœuvre à des *intervalles de temps égaux*, de l'ordre de la demi-minute ou de la minute, suivant le degré d'amortissement de l'appareil, les déplacements du zéro se trouvent éliminés, car ces déplacements sont très lents et se font toujours dans le même sens pour une série de mesures qui n'exige que quelques minutes.

L'exemple suivant, relevé sur mon cahier d'expériences, fera encore mieux saisir la méthode :

Bec Auer	Bec Bengel	
305 millimètres	103 millimètres	
> - 222	> + 32	
83	137	
> + 205	> - 49	
288	88	Rapport $\frac{214,5}{43,5} = 4,93$
> - 223	> + 36	
35	124	
> + 208	> - 57	
273	67	
Moyenne d'un nombre } —		
pair de différences { 214,5	43,5	

Rapport trouvé au photomètre de Lummer et Brodhun :

$$\left(\frac{95}{43}\right)^2 = 4,88.$$

Dans le cas de sources très intenses, on doit réduire dans un rapport connu la sensibilité de l'appareil, qui donne environ ± 30 millimètres, soit 60 millimètres de déviation totale pour la lampe Carcel à 1 mètre. Pour cela, la lentille est munie d'un des diaphragmes D,

visibles sur la *fig. 3* donnant la vue d'ensemble de l'instrument.

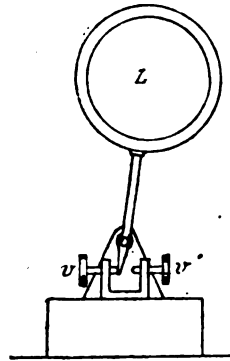


FIG. 2.

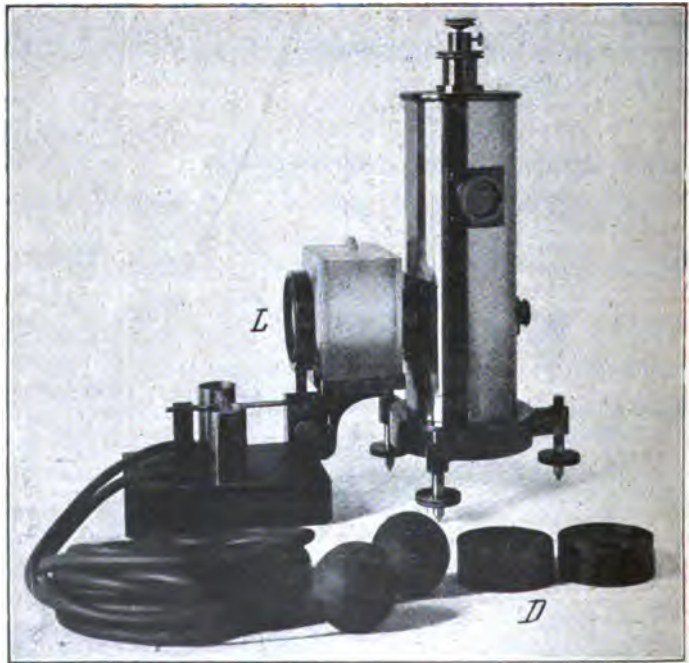


FIG. 3.

Toutes les lampes en étude doivent toujours être disposées à une dis-

tance uniforme de 1 mètre de la lentille de concentration pour que les résultats soient comparables.

Rendement optique de quelques luminaires. — Pour terminer, je donnerai quelques résultats relatifs aux lampes à incandescence :

Lampe à filament de charbon normalement	
poussée prenant 74,9 watts.....	— 22 bougies
Lampe tantale, 44 watts.....	— 32,9 bougies
Lampe Z, 46 watts.....	— 45,9 —

Ce qui conduit aux rendements suivants :

Lampe à filament de charbon.....	3,39 watts par bougie
— tantale	1,34 —
— Z.....	1,00 —

résultats conformes à ceux obtenus par les méthodes photométriques ordinaires.

Le temps ne m'a pas encore permis de faire l'étude des lampes à arc à l'aide de cet appareil, mais je m'en suis servi pour faire quelques mesures du « rendement optique » de quelques luminaires.

Dans ce but, je mesurais successivement la déviation produite par l'appareil muni de la lentille et de la cuve absorbante, puis celle obtenue en faisant sur les soudures l'image de la source au moyen d'un petit trou (sténopé) percé dans une plaque noircie remplaçant la lentille, ce qui permettait de supprimer entre la source et la soudure tout milieu transparent autre que l'air.

Le rapport des surfaces de la lentille et du petit trou ayant 1 millimètre de diamètre fut mesuré avec soin et trouvé égal à 2116.

J'obtins ainsi pour la lampe à incandescence à fil de charbon normalement poussée (110 volts) :

Déviation en lumière.....	242 ^{mm} ,5
Déviation radiation totale	36,5 × 2116 = 77.234
Rendement ⁽¹⁾	$\frac{242,5}{77\,234} = 0,314\,0,0$

Le rendement baisse à 0,187 0 0 quand on réduit le voltage à 97,5 volts.

(¹) En négligeant l'absorption de la cuve et de la lentille pour les rayons lumineux $\lambda = 0,54\,\mu$. Ces valeurs sont donc trop faibles, elles ne donnent que l'ordre de grandeur du rendement optique.

Le bec Auer étudié de même a donné :

$$\text{Rendement optique.....} \quad \frac{382}{95\,200} = 0,401 \text{ 0/0}$$

et le bec Bengel :

$$\text{Rendement optique.....} \quad \frac{118}{129\,000} = 0,0914 \text{ 0/0.}$$

Je me propose d'étudier de la même manière les arcs et les lampes à vapeur de mercure.

RECHERCHES SUR LES MOBILITÉS DES IONS DANS LES GAZ ⁽¹⁾ ;

Par M. A. BLANC

Les mobilités ont été mesurées par une méthode qui dérive directement de celle du champ alternatif, employée par Rutherford ⁽²⁾.

Un plateau métallique A, entouré d'un anneau de garde, est en communication avec l'une des paires de quadrants d'un électromètre Curie; l'autre paire de quadrants est au sol (la cage de l'appareil) et

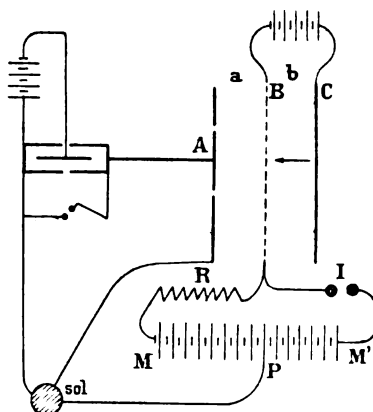


FIG. 1.

l'aiguille est portée à un potentiel élevé (90 volts ou 180 volts). Les quadrants qui communiquent avec A, d'abord au sol, sont isolés au moment de faire une mesure.

⁽¹⁾ Séance du 3 juillet 1908.

⁽²⁾ RUTHERFORD, *la Décharge des corps électrisés par la lumière ultraviolette; (Ions, électrons, corpuscules, t. II, p. 672.)*

En face du plateau A est une toile métallique B, parallèle à A, à la distance a , et derrière B un autre plateau C, à la distance b de la toile métallique.

On établit entre B et C une différence de potentiel constante, produisant un champ électrique dirigé, par exemple, de C vers B, si on veut mesurer la mobilité des ions positifs. Entre B et A, on crée un champ alternatif de période T : pendant une demi-période, une différence de potentiel V , établie entre B et A, produit un champ de même sens que celui qui existe constamment entre C et B ; pendant la demi-période suivante, une différence de potentiel V' , égale ou supérieure à V et de signe contraire, produit un champ dirigé en sens inverse du précédent.

On produit des ions dans le gaz entre B et C, à l'aide d'un faisceau étroit de rayons Roentgen par exemple. Les ions positifs se dirigent vers la toile métallique ; ils peuvent la traverser et passer entre B et A quand le champ est dirigé de B vers A, l'intensité de ce champ étant toujours voisine de celle du champ qui existe constamment entre C et B. Les ions positifs sont arrêtés au contraire par la toile métallique quand le champ est dirigé de A vers B.

Quand les ions positifs traversent la toile métallique, ils se dirigent vers le plateau A avec la vitesse :

$$v = k_1 \frac{V}{a}.$$

Quelques-uns de ces ions pourront atteindre A, si le temps qu'ils mettent pour parcourir la distance a est inférieur à $\frac{T}{2}$; si on fait croître progressivement V , l'électromètre commencera à dévier quand

$$\frac{a}{v} = \frac{T}{2}$$

ou

$$(1) \quad \frac{a^2}{k_1 V_0} = \frac{T}{2}.$$

les ions qui n'ont pas atteint A pendant la demi-période $\frac{T}{2}$, sont ramenés en arrière pendant la demi-période suivante par le champ dû à la différence de potentiel V' , qu'on peut laisser constante quand V varie, pourvu qu'elle lui soit toujours supérieure.

A mesure que V augmente, à partir de la valeur V_0 , l'intensité

recueillie par l'électromètre augmente. Si on suppose que les ions qui ont traversé B et qui s'avancent vers A, sont uniformément répartis dans le gaz et au nombre de n par centimètre cube, on a, S étant la surface du plateau A :

$$\begin{aligned} i &= \left(\frac{k_1 V}{a} \times \frac{T}{2} - a \right) S n e \times \frac{1}{T}, \\ (2) \quad i &= \frac{k_1 n e S}{2a} V - \frac{a n e S}{T}. \end{aligned}$$

La courbe qui représente i en fonction de V serait donc une ligne droite si n ne dépendait pas de V . En réalité, n varie avec V , mais très lentement, de sorte que la courbe expérimentale est bien une droite dans le voisinage de la valeur V_0 ; il suffira, pour avoir V_0 , de prendre l'intersection de cette droite avec l'axe des abscisses, et l'équation donnera :

$$(3) \quad k_1 = \frac{2a^2}{V_0 T}.$$

Pour mesurer la mobilité des ions négatifs, il suffit de changer le sens du champ constant entre C et B, ainsi que les signes des différences de potentiel V et V' .

Remarquons que la droite représentée par l'équation (2) a un coefficient angulaire indépendant de T ; donc la précision de la méthode ne dépend pas de la valeur choisie pour la période. Or, dans la formule (3), a entre au carré, de sorte qu'il est nécessaire de bien connaître cette distance, ce qui conduit à lui donner une valeur assez grande, et par suite à donner aussi des valeurs assez grandes à T , si on ne veut pas avoir pour V des différences de potentiel excessives.

Le système A, B, C tout entier est placé dans une boîte métallique fermée, communiquant avec le sol, à l'intérieur de laquelle on peut faire le vide et introduire différents gaz; une fenêtre fermée par une lame d'aluminium permet de faire arriver des rayons Röntgen entre B et C.

La toile métallique B est constituée par un cadre de laiton sur lequel ont été tendus des fils de cuivre tous parallèles entre eux, placés à 1 millimètre l'un de l'autre et ayant 0^{mm},3 de diamètre.

La distance a entre A et B était de 2^{cm},90 et la distance b entre B et C de 3^{cm},23. Le plateau A avait la forme d'un cercle de 5 centimètres de diamètre; il était entouré d'un anneau de garde communiquant avec le sol.

La différence de potentiel entre B et C, constante pendant la durée d'une mesure, était obtenue à l'aide d'un nombre convenable d'accumulateurs isolés.

La grille B est reliée constamment au pôle M d'une batterie de petits accumulateurs, dont un point intermédiaire P est au sol (fig. 1) ; la communication entre B et M est établie par l'intermédiaire d'une très grande résistance R (résistance en graphite de 200 000 ohms).

En outre la grille B peut être relié par un interrupteur à l'autre pôle M' de la batterie (le pôle positif, si on veut mesurer la mobilité des ions positifs). L'interrupteur I est alternativement ouvert et fermé pendant des temps égaux à $\frac{T}{2}$. Quand I est ouvert, B communique uniquement avec M et se trouve au potentiel du pôle M ; quand I est fermé, B est au potentiel de M', car la communication avec M par I présente une résistance négligeable par rapport à la résistance R. C'est la différence de potentiel entre M et le sol qui est égale à V' : on la laisse constante pendant la durée d'une mesure ; la différence de potentiel entre M' et le sol est égale à V : on la fait varier pour construire la courbe qui donne l'intensité recueillie par l'électromètre. Quant au temps qui s'écoule pour que le champ passe d'une valeur à l'autre, quand l'interrupteur I s'ouvre ou se ferme, il est complètement négligeable (il est certainement inférieur à un millionième de seconde).

L'interrupteur I était constitué par deux godets de mercure entre lesquels un pont oscillait avec la période T, de façon à fermer le circuit pendant une demi-période, et à l'ouvrir pendant la demi-période suivante. Ce pont était porté soit par une tige reliée au balancier d'un métronome, soit par une tige vibrante entretenue électriquement (à la façon d'un interrupteur de Foucault). La période T pouvait ainsi varier de 0^{sec},6 à 0^{sec},14.

Même avec ces périodes relativement longues, l'aiguille de l'électromètre n'avait pas d'oscillations gênantes, et on pouvait mesurer aisément le temps nécessaire pour que le spot se déplace de 10 divisions de l'échelle : c'est l'inverse, multiplié par 1000, de ce temps qu'on prenait pour mesurer l'intensité recueillie par le disque A. Il était seulement nécessaire d'isoler la paire des quadrants reliés à A avant de faire communiquer B avec tout le système RMM'I ; sinon l'aiguille de l'électromètre peut prendre, quand on isole les quadrants, une déviation considérable.

Il n'y avait pas lieu de tenir compte de la petite déviation que prend malgré tout l'aiguille quand on fait communiquer B avec le système RMM'I, car elle était très faible.

Les ions étaient produits entre B et C par un faisceau de rayons Röntgen parallèles à B; mais il se formait toujours une petite quantité d'ions entre B et A par l'action des rayons secondaires qui proviennent du gaz lui-même. Il en résulte que l'intensité recueillie par A n'est pas nulle même quand la valeur de V est inférieure à la valeur V_0 pour laquelle les ions qui ont pénétré par la grille commencent à atteindre A. L'intensité reçue par A et qui provient des ions formés entre A et B, est de signe contraire à celle qui provient des ions qui entrent par la grille, dès que V est un peu inférieur à la différence de potentiel V' , laquelle reste constante quand V varie. Cette intensité est la seule qu'on mesure quand V est inférieur à V_0 ; elle est représentée par une droite qui s'écarte assez peu de l'axe des abscisses.

Finalement l'ensemble de la courbe qui donne en fonction de V l'intensité reçue par A, se compose de deux droites, dont le point d'intersection correspond au potentiel V_0 de l'équation (3).

Quand le nombre d'ions qui traversent la grille B est assez grand, les deux droites ont des coefficients angulaires très différents et leur point d'intersection est bien déterminé (fig. 2).

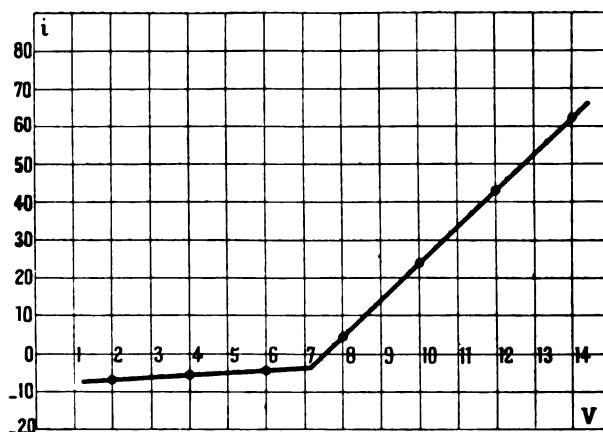


FIG. 2.

Dans ces mesures, les ions étaient toujours assez peu nombreux entre A et B pour ne pas modifier sensiblement le champ par leur présence. On obtenait des résultats concordants, en faisant varier le

nombre des ions dans le rapport de 1 à 4 (en poussant le tube à rayons Röntgen), ou en utilisant d'autre part des champs dans le rapport de 4 à 1 (suivant qu'en prenait une période T égale à $0^{\text{sec}},14$ ou à $0^{\text{sec}},6$).

La méthode précédente a été utilisée pour mesurer les mobilités des ions dans des mélanges d'air et de gaz carbonique, de gaz carbonique et d'hydrogène.

L'air qu'on faisait entrer dans l'appareil était privé de gaz carbonique en passant bulle à bulle dans une dissolution concentrée de potasse ; il était desséché par son passage dans deux flacons laveurs contenant de l'acide sulfurique et dans un long tube de verre rempli de coton de verre et d'anhydride phosphorique.

Le gaz carbonique était préparé dans un appareil de Kipp à l'aide de marbre blanc et d'acide chlorhydrique pur ; on le faisait passer dans une dissolution saturée de bicarbonate de sodium pour arrêter l'acide chlorhydrique, puis, pour le dessécher, dans deux éprouvettes à chlorure de calcium, dans deux éprouvettes à coton de verre et anhydride phosphorique, et enfin dans une éprouvette remplie de sodium en fil fin. Si le gaz contient encore de l'humidité quand il arrive sur le sodium, il peut contenir ensuite des traces d'hydrogène ; mais cela n'est pas gênant, car nous verrons qu'il faut une forte proportion d'hydrogène dans le gaz carbonique pour modifier de façon sensible les mobilités des ions.

L'hydrogène était préparé par électrolyse d'une dissolution de soude à 15 0/0 ; l'appareil employé était celui de MM. Vèzes et Labatut ⁽¹⁾. Le gaz était desséché en passant dans une série d'éprouvettes identique à celle du gaz carbonique : deux éprouvettes à chlorure de calcium, deux éprouvettes à coton de verre et anhydride phosphorique, une éprouvette à fil de sodium.

Avant d'étudier les mélanges, on a mesuré les mobilités dans les gaz purs. Ces mobilités ont été mesurées à des pressions voisines de la pression atmosphérique, elles ont été ramenées à la pression de 76 centimètres de mercure, en admettant que la mobilité est inversement proportionnelle à la pression, ce qui est exact pour des pressions de cet ordre, d'ailleurs très voisines.

La pression du gaz introduit dans l'appareil était mesurée à l'aide d'un manomètre à mercure.

Voici les résultats obtenus pour les mobilités des ions des deux

(1) VÈZES et LABATUT, *Zeitschrift für anorganische Chemie*, t. XXXII, p. 464.

signes (k_1 représente la mobilité des ions positifs, k_2 celle des ions négatifs) :

	Air	CO ₂	H
k_1	380	250	1.600
k_2	600	308	3.000

Ces nombres peuvent être considérés comme exacts à deux centièmes près pour l'air et le gaz carbonique. Pour l'hydrogène la précision est bien moindre, car les deux droites qui, par leur point d'intersection, déterminent le potentiel V_0 de l'équation (3) ont des coefficients angulaires assez voisins; il y a beaucoup moins d'ions qui traversent la grille, parce que leur coefficient de diffusion est bien plus grand que dans les autres gaz, de sorte qu'ils sont arrêtés par les fils de cuivre de B. Cet inconvénient ne se présente que pour l'hydrogène pur; il disparaît quand on opère sur un mélange contenant même assez peu de gaz carbonique. Les nombres précédents conduisent pour le rapport $\frac{k_2}{k_1}$ à des valeurs plus grandes que les nombres obtenus par la méthode des courants gazeux de Zeleny ⁽¹⁾ ou par la méthode de Langevin ⁽²⁾. Cela ne tient pas sans doute à la méthode, mais au fait que les gaz que j'ai employés étaient particulièrement secs.

L'influence de l'humidité est en effet très sensible; elle diminue la mobilité des ions négatifs *et augmente celle des ions positifs*. Ce fait avait été observé par Zeleny pour le gaz carbonique; je l'ai constaté également pour l'air. Voici les mobilités trouvées dans ces deux gaz saturés de vapeur d'eau à 15°.

	Air (pression totale de 753 mm.)	CO ₂ (pression totale de 776 mm.)
k_1	450	258
k_2	490	230

Dans le gaz carbonique humide, les ions positifs ont même une mobilité plus grande que les ions négatifs.

Dans l'hydrogène humide, la mobilité des ions négatifs diminue certainement, mais l'augmentation de mobilité des ions positifs est de l'ordre de l'erreur possible.

Ces résultats concordent avec ceux que Townsend a obtenus pour

⁽¹⁾ ZELENY, *Mobilités des ions produits dans les gaz par les rayons de Röntgen: (Ions, électrons, corpuscules, t. II, p. 1117).*

⁽²⁾ LANGEVIN, thèse de doctorat p. 191; 1902.

les coefficients de diffusion des ions dans les gaz humides (¹); il a trouvé que le coefficient de diffusion des ions négatifs diminue,



FIG. 3.

tandis que celui des ions positifs augmente. Or le quotient $\frac{k}{D}$ doit rester constant(¹); les mobilités doivent donc varier de la même façon que les coefficients de diffusion.

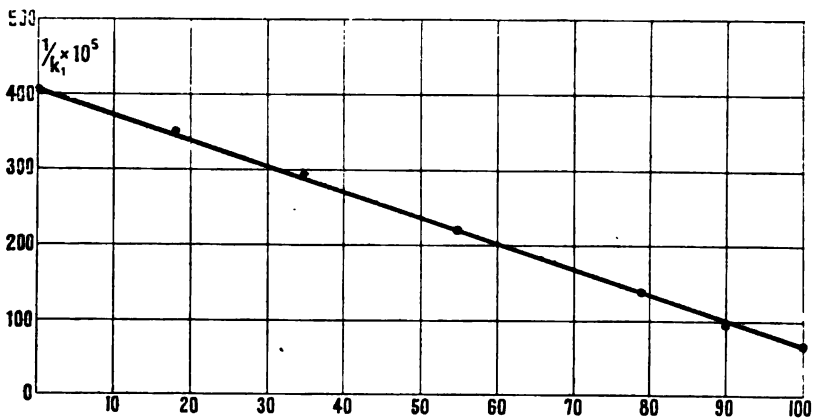


FIG. 4.

Dans la suite, pour les mesures de mobilités dans les mélanges de gaz, ces gaz ont toujours été desséchés comme il a été dit.

(¹) TOWNSEND, *Diffusion des ions dans les gaz* (Ions, électrons, corpuscules, t. II, p. 920).

L'appareil étant rempli de gaz carbonique à la pression atmosphérique, on mesurait la mobilité, puis on faisait un vide partiel jusqu'à une pression mesurée par le manomètre à mercure, on rétablissait la pression atmosphérique en faisant arriver de l'hydrogène, et en faisait une nouvelle mesure de mobilité. Ainsi de suite jusqu'à ce que l'appareil fût plein d'hydrogène pur. Toutes les mobilités ont été rapportées à la pression de 76 centimètres de mercure.

On opérait de même pour les mélanges de gaz carbonique et d'air.

I. *Mélanges de gaz carbonique et d'hydrogène.* — Nous avons vu que la méthode donnait peu de précision dans le cas de l'hydrogène pur; il n'en est pas de même quand il y a un peu de gaz carbonique. Ceci prouve que les coefficients de diffusion diminuent très vite quand on ajoute un peu de gaz carbonique à l'hydrogène; c'est un résultat qu'on pouvait prévoir, puisque le quotient $\frac{k}{D}$ doit rester constant et que k diminue lui-même très vite, comme nous allons le voir.

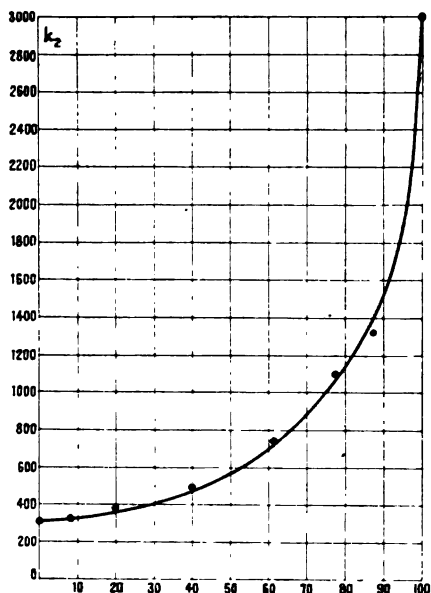


FIG. 5.

Les tableaux suivants donnent les résultats obtenus pour lesions des deux signes dans ces mélanges ; chaque mélange est caractérisé

par le rapport de la pression de l'hydrogène dans le mélange à la pression totale.

TABLEAU I. — Ions négatifs.

Rapport de la pression de l'hydrogène à la pression totale	0	8,2	20,1	40,1	61	77,3	87,2	100
k_2	308	325	372	492	734	1.100	1.330	3.000
$\frac{1}{k_2} \times 10^5$	325	307	268	203	136	91	75	33

TABLEAU II. — Ions positifs.

Rapport de la pression de l'hydrogène à la pression totale	0	18,2	34,7	54,6	79	90	100
k_1	250	288	342	456	736	1.069	1.600
$\frac{1}{k_1} \times 10^5$	400	347	292	219	136	93,4	62,5

La courbe qui représente l'inverse de la mobilité en fonction de la pression relative de l'hydrogène dans le mélange est une ligne droite pour les ions des deux signes (fig. 3 et fig. 4).

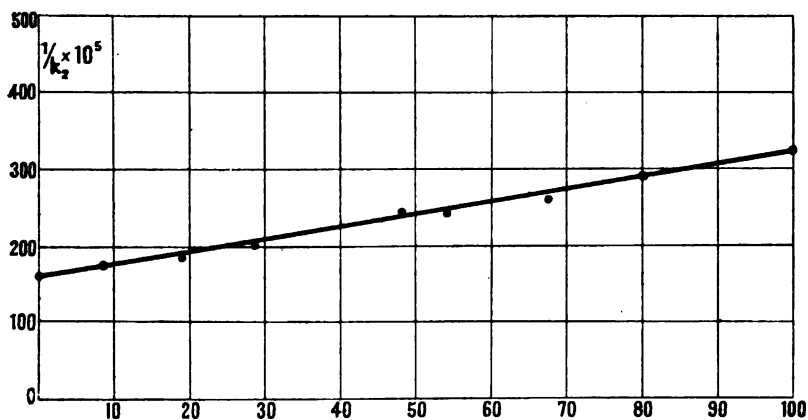


FIG. 6.

Par suite, la courbe qui représente la mobilité est une hyperbole dont les asymptotes sont parallèles aux axes (fig. 5).

Il résulte de cette forme de courbe qu'il suffit d'ajouter très peu de gaz carbonique à l'hydrogène pour que la mobilité diminue énormément.

ment ; au contraire, on peut ajouter assez d'hydrogène au gaz carbonique sans que la mobilité varie beaucoup.

II. *Mélanges d'air et de gaz carbonique.* — Les résultats relatifs à ces mélanges sont contenus dans les tableaux suivants :

TABLEAU III. — *Ions négatifs.*

Rapport de la pression du CO ₂ à la pression totale	0	8,7	19,3	28,9	48,3	54,1	67,6	79,9	100
k_2	600	577	534	494	419	410	387	348	308
$\frac{1}{k_2} \times 10^5$	167	173,3	187,3	202,4	238,6	243,9	258,4	287,3	325

TABLEAU IV. — *Ions positifs.*

Rapport de la pression du CO ₂ à la pression totale	0	15,9	41,9	59,9	83,9	100
k_1	380	360	317	287	271	250
$\frac{1}{k_1} \times 10^5$	263	278	315	345	369	400

Les courbes qui représentent les inverses des mobilités en fonction de la pression relative du gaz carbonique dans le mélange, *sont encore des lignes droites* (fig. 6 et fig. 7).

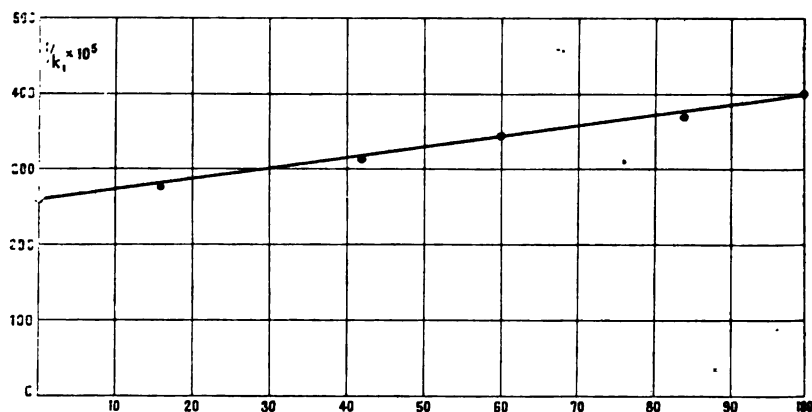


FIG. 7.

Considérons, dans un mélange de deux gaz, des ions, positifs par exemple, au nombre de p par centimètre cube. S'il existe un champ électrique X , les ions prendront par rapport au gaz une certaine vitesse u_1 ; la quantité de mouvement échangée dans l'unité de temps par les ions avec les molécules du premier gaz, dont la densité

est ρ' dans le mélange, sera $A'_1 \rho' \rho_1 u_1$, en appelant ρ_1 la densité des ions. On aura une expression analogue pour le deuxième gaz, et on pourra écrire ⁽¹⁾, en supposant la pression uniforme pour les ions, l'équation de mouvement :

$$(4) \quad \rho_1 \frac{du_1}{dt} = peX - A'_1 \rho' \rho_1 u_1 - A''_1 \rho'' \rho_1 u_1.$$

Quand u_1 est devenu constant, le premier membre est nul ; on a :

$$u_1 = \frac{peX}{A'_1 \rho' \rho_1 + A''_1 \rho'' \rho_1}.$$

Désignons par m' et m'' les masses des molécules des deux gaz ; soit n' et n'' le nombre de ces molécules par centimètre cube ; enfin, soit m_1 la masse de l'ion. On a :

$$\rho' = n'm', \quad \rho'' = n''m'', \quad \rho_1 = pm_1,$$

de sorte qu'on peut écrire :

$$(5) \quad u_1 = \frac{e}{m_1 (A'_1 n'm' + A''_1 n''m'')} \times X.$$

Le facteur qui multiplie X n'est autre chose que la mobilité k_1 ; donc :

$$(6) \quad \frac{1}{k_1} = \frac{m_1}{e} \{ A'_1 m'n' + A''_1 m''n'' \}$$

n' et n'' sont proportionnels aux pressions des deux gaz dans le mélange ; leur somme est constante si la pression totale est constante. Donc $\frac{1}{k_1}$ sera une fonction linéaire de n' et de n'' , c'est-à-dire des pressions des gaz dans le mélange, si les produits $A'_1 m'n'$, et $A''_1 m''n''$, sont à peu près indépendants de la composition du mélange pour les ions produits dans ce mélange. L'expérience nous a montré qu'il en est ainsi :

Or Langevin⁽²⁾ a donné pour A'_1 , dans le cas où les chocs entre ions et molécules ont une importance négligeable, l'expression :

$$A'_1 = \frac{e}{0,505} \sqrt{\frac{K'-1}{\rho'}} \sqrt{\frac{1}{m_1 (m' + m_1)}}$$

(1) BOLTZMANN, *Leçons sur la théorie des gaz*, traduction Gallotti, t. 1, p. 186.

(2) LANGEVIN, *Une formule fondamentale de théorie cinétique* (Ann. de Chim. et de Phys., 8^e série, t. V; 1903).

où K' est le pouvoir inducteur spécifique du gaz considéré. Donc :

$$A'_1 m'_1 = \frac{em'}{0,505} \sqrt{\frac{K' - 1}{\rho'}} \sqrt{\frac{m_1}{m' + m_1}}.$$

Le facteur $m' \sqrt{\frac{K' - 1}{\rho'}}$ est une constante du gaz; l'ion intervient seulement dans le facteur $\sqrt{\frac{m_1}{m' + m_1}}$. Donc, si m_1 dépend de la composition du mélange, la masse de l'ion doit être notable par rapport à la masse m' d'une molécule du gaz; le facteur en question est alors toujours voisin de l'unité. On est ainsi conduit à admettre que l'ion est formé par un groupement de molécules autour d'un centre chargé; c'est la conséquence que Langevin a déduite de la valeur même des mobilités.

Les mêmes conclusions s'appliquent naturellement aux ions négatifs.

Remarquons que les ions se comportent au point de vue de la diffusion comme au point de vue de la mobilité, ainsi qu'il fallait s'y attendre, puisque $\frac{k}{D}$ est toujours constant. C'est ainsi que les coefficients de diffusion des ions dans l'hydrogène, l'air, le gaz carbonique sont proportionnels aux coefficients de diffusion dans ces gaz d'une même vapeur, telle que la vapeur d'éther ou la vapeur d'amide isobutylique ⁽¹⁾. C'est une confirmation des résultats que j'ai obtenus pour les mobilités.

On peut se demander ce que devient le groupement de molécules constituant l'ion, quand on transporte celui-ci d'un gaz dans un autre ⁽²⁾, du gaz carbonique dans l'air par exemple (je n'ai pas opéré avec le gaz carbonique et l'hydrogène, parce que, dans l'hydrogène, la méthode employée donne moins de précision et que l'expérience serait d'ailleurs plus difficile à réaliser).

Les plateaux A, B, C, sont placés horizontalement : le plateau C est placé dans un cristalliseur en verre D, à une profondeur de 5 centimètres, la grille B est disposée au-dessus de C à une distance de 10 centimètres, et la distance de B au disque A, relié à l'électro-

⁽¹⁾ J.-J. Thomson, *Conduction of Electricity through gases*, 2^e éd., p. 39 et 40, 73 et 74.

⁽²⁾ J.-J. Thomson s'était posé cette question pour les ions négatifs : *Conduction of Electricity through gases*, 2^e éd., p. 29. Il proposait de la résoudre par une expérience du genre de celle qui va être décrite.

mètre, est de 1 centimètre seulement. Tout le système est protégé par un cylindre métallique E en relation avec le sol (fig. 8).

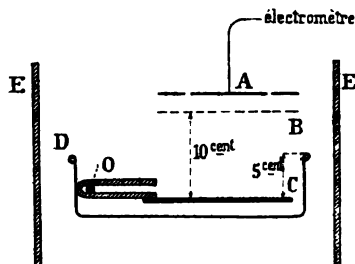


FIG. 8.

On fait arriver au fond du cristalliseur un courant très lent de gaz carbonique; au bout de quelques minutes le niveau du gaz carbonique atteint le haut du cristalliseur et y demeure invariable, l'excédant du gaz s'écoulant tout autour.

On ionise le gaz carbonique dans une tranche mince très voisine du plateau C, à l'aide de rayons Röntgen ou mieux d'un peu de bromure de radium, convenablement placé entre deux feuilles de plomb dans le cristalliseur lui-même, en O. Les ions produits sont entraînés vers la grille B et pénètrent dans l'air (l'air du laboratoire non desséché); ces ions traversent la grille B et on mesure leur mobilité comme d'habitude. On fait toujours deux mesures successives, l'une sans faire arriver de gaz carbonique, l'autre une fois que le gaz carbonique remplit le cristalliseur D.

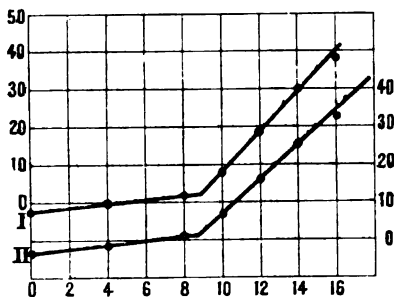


FIG. 9.

Les mobilités obtenues dans les deux cas ont toujours été identiques, et cela pour les ions des deux signes.

La fig. 9 représente, par exemple, les courbes d'où l'on déduit la mobilité des ions positifs; la courbe I correspond au cas de l'air, la courbe II à celui du gaz carbonique et de l'air superposés; elles ont été déplacées l'une par rapport à l'autre dans le sens vertical pour plus de clarté. On voit que les deux points d'intersection correspondant aux deux courbes donnent exactement le même potentiel V_0 . On en déduit $k_1 = 420$.

Pour les ions négatifs, on trouve de même $k_2 = 530$ dans les deux cas.

Ce résultat pourrait encore s'expliquer par la constance des produits Λ, mm_1 , etc. (en fonction desquels s'expriment les mobilités), donc par la grosseur notable des ions. Mais il est probable aussi que le groupement qui constitue l'ion échange constamment des molécules avec le gaz ambiant, de sorte qu'il se détruit en passant du premier gaz dans le second pour se reformer avec des molécules de celui-ci.

LE RELIEF STÉRÉOSCOPIQUE EN PROJECTION PAR LES RÉSEAUX LIGNÉS ⁽¹⁾ ;

Par M. E. ESTANAVE.

Pour obtenir la sensation du relief au moyen d'images, deux conditions sont nécessaires :

1° Observer au même endroit binoculairement deux épreuves répondant à deux perspectives d'un objet ;

2° Observer ces épreuves de telle façon que celle qui est destinée à l'œil droit soit vue seulement par l'œil droit à l'exclusion de son congénère, de même pour l'image destinée à l'œil gauche.

Ces conditions sont réalisées dans l'écran à réseaux.

Écran stéréoscope à réseaux. — Dans ses parties essentielles, l'écran stéréoscope à réseaux se compose de deux réseaux lignés RR, R'R' (fig. 1), à lignes parallèles alternativement opaques et transparentes. Ces réseaux sont séparés par une glace dépolie EE'. Un couple stéréoscopique formé de deux images I_1, I_2 est projeté à l'aide d'objectifs O_1 et O_2 sur cet écran disposé de façon que les lignes des réseaux soient verticales, c'est-à-dire perpendiculaires à

(¹) Séance du 19 juin 1908.

la direction O_1O_2 . Les objectifs sont suffisamment rapprochés pour donner sur l'écran des images qui empiètent l'une sur l'autre, et dont certains points homologues coïncident.

L'image de I_1 se produit sur la glace dépolie EE' en une image incomplète formée de lignes-images notées 1, 1, 1, ..., enchevêtrées et alternées avec les lignes-images notées 2, 2, 2, ..., provenant de l'image de I_2 . Les conditions sont réalisées pour que les lignes 1, 1, 1, ..., n'empiètent pas sur les lignes 2, 2, 2, ...

L'observateur dont les yeux sont placés en O_g , O_d dans une posi-

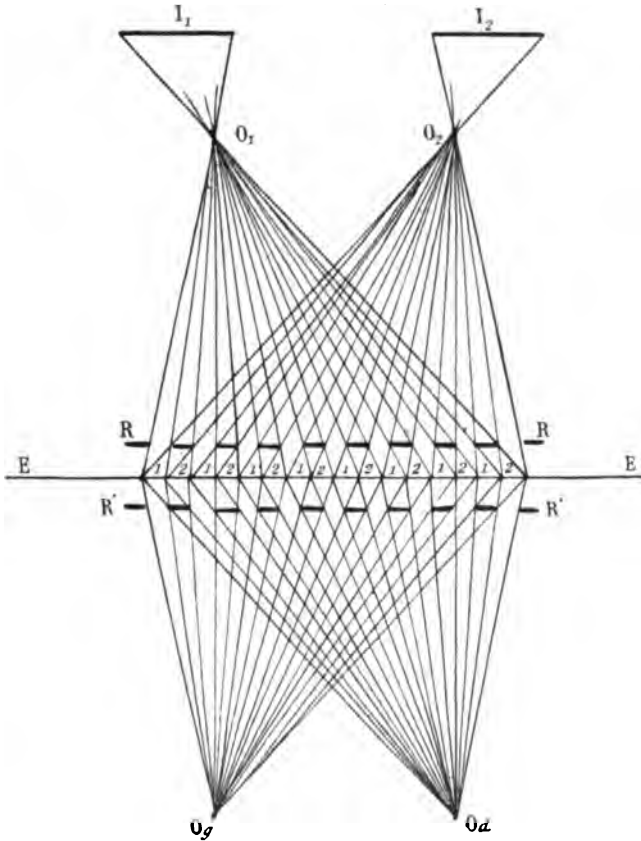


FIG. 1.

tion presque symétrique, par rapport à l'écran, des objectifs O_1 , O_2 , verra à travers les traits transparents du réseau $R'R'$ une image

unique pourvue de relief. En effet l'œil O_1 verra seulement des bandes-images notées 1, 1, 1, ..., correspondant à l'image I_1 , et l'œil O_2 verra seulement les bandes notées 2, 2, 2, ..., correspondant à l'image I_2 . Les autres bandes étant cachées respectivement à chaque œil pour les traits opaques du réseau d'observation $R'R'$. Chaque œil examinant ainsi l'image qui lui correspond stéréoscopiquement et celle-là seulement, le relief apparaît. Grâce à la finesse des traits des réseaux utilisés les lignes-images 1, 1, 1, ..., ou 2, 2, 2, ..., sont suffisamment voisines pour que ces images incomplètes paraissent continues.

En résumé le problème résolu par l'écran stéréoscope à réseaux est de partager une surface plane EE' en deux plages : l'une visible à un l'œil, l'autre visible à l'autre ; les plaques ne sont pas continues mais formées de bandes parallèles ; les bandes qui définissent l'une des plages étant alternées avec celles qui définissent l'autre. L'un des réseaux RR sert à effectuer cette division en plages et à localiser dans chacune d'elles les images I_1, I_2 . L'autre réseau R', R' sert uniquement à faire voir à chaque œil, chacune de ces plages.

Le même écran, disposé de telle façon que les lignes des réseaux soient horizontales, c'est-à-dire parallèles à la ligne des yeux de l'observateur, peut servir à l'obtention des images à aspect changeant ⁽¹⁾ suivant l'angle de vision de l'observateur.

(1) C. R., t. CXLVI, p. 391 ; février 1908.

ÉPREUVES RÉVERSIBLES DONNANT LA SENSATION DU RELIEF;

Par M. G. LIPPMANN (1).

1. La plus parfaite des épreuves photographiques actuelles ne montre que l'un des aspects de la réalité; elle se réduit à une image unique fixée dans un plan, comme le serait un dessin ou une peinture tracée à la main. La vue directe de la réalité offre, on le sait, infiniment plus de variété. On voit les objets dans l'espace, en vraie grandeur et en relief, et non dans un plan. De plus leur aspect change avec les positions de l'observateur; les différents plans de la vue se déplacent alors les uns par rapport aux autres; la perspective se modifie; les parties cachées ne restent pas les mêmes; enfin, si le spectateur regarde le monde extérieur par une fenêtre, il est maître de voir les diverses parties d'un paysage venir s'encadrer successivement entre les bords de l'ouverture, si bien que dans ce cas ce sont des objets différents qui lui apparaissent successivement.

Peut-on demander à la Photographie de nous rendre toute cette variété qu'offre la vue directe des objets? Est-il possible de constituer une épreuve photographique de telle façon qu'elle nous représente le monde extérieur s'encadrant, en apparence, entre les bords de l'épreuve, comme si ces bords étaient ceux d'une fenêtre ouverte sur la réalité? Il semble que oui; on peut demander à la Photographie infiniment plus qu'à la main de l'homme. Je vais essayer d'indiquer ici une solution du problème.

2. La plaque sensible est à cet effet constituée de la manière suivante: Une couche d'émulsion est appliquée contre la face postérieure d'une lame transparente; la face antérieure, au lieu d'être pleine, comme dans les films en usage, est couverte de petites saillies en forme de segments sphériques. Chaque saillie est destinée à fonctionner comme lentille convergente, à projeter une image des objets situés sur un élément correspondant à la couche d'émulsion sensible. La plaque sensible se trouve donc divisée en un grand nombre de chambres noires minuscules accolées les unes aux autres, et que j'appellerai des cellules.

Cette disposition rappelle celle de l'œil composé du cristallin;

(1) Séance du 20 mars 1908.

chez le dytique, par exemple, la surface extérieure de l'œil est formée d'un grand nombre de cornées transparentes accolées hexagonalement, comme les cellules d'une ruche d'abeilles. Seulement les rétines de l'œil composé sont remplacées ici par la couche d'émulsion sensible⁽¹⁾.

3. La première propriété d'un pareil système est de donner des images photographiques sans qu'on l'ait introduit dans une chambre noire. Il suffit de le présenter en pleine lumière devant les objets à représenter. L'emploi d'une chambre noire est utile, parce que chaque cellule du film est elle-même une chambre noire. Il faut, bien entendu, conserver la pellicule dans une boîte étanche à la lumière, n'ouvrir celle-ci que pendant le temps nécessaire à la pose, la pellicule demeurant immobile pendant ce temps ; ensuite refermer la boîte, enfin aller développer et fixer dans l'obscurité.

Le résultat de ces opérations est une série de petites images microscopiques fixées chacune sur la rétine d'une des cellules.

Si l'on regardait l'épreuve photographique par derrière, c'est-à-dire en se mettant du côté de l'émulsion, on ne pourrait voir qu'un système des petites images juxtaposées, en nombre égal à celui des cellules.

L'observateur doit se placer du côté antérieur, ses yeux se trouvant à une distance arbitraire de la plaque, et celle-ci étant éclairée par transparence en lumière diffuse : appliquée par exemple contre un verre dépoli.

Il voit dans ce cas une *image unique, située dans l'espace et en vraie grandeur*.

En effet, pendant la pose, les rayons émanés d'un point antérieur A viennent converger au fond d'une cellule quelconque en un point *a* image de A (*fig. 1*). Cette image est révélée et fixée par les opérations photographiques. Lorsqu'ensuite on éclaire *a*, les rayons partant de *a* vont converger en A, en vertu du principe du retour inverse des rayons. Ceci s'applique à toutes les cellules qui ont reçu des rayons émis par A : toutes portant des images *a*, *a*, *a* qui ont pour image conjuguée le point A ; toutes émettent des faisceaux lumineux qui convergent vers A. L'ensemble de ces faisceaux étroits forme

(1) Rappelons qu'un œil composé d'insecte fournit une série d'images minuscules photographiables. Ces images ont été photographiées par M. le Dr Vigier, qui a utilisé des yeux de coléoptère (1905-1907).

donc un large faisceau qui converge vers A (voir *fig. 1*) : c'est un faisceau large, puisqu'il a pour base toute la plaque sensible, ou du moins toute la partie de cette plaque d'où le point A était visible ⁽¹⁾.

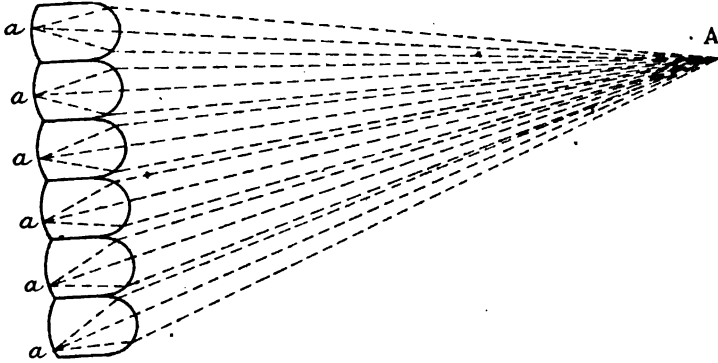


FIG. 1.

Ainsi, grâce à la propriété de la réversibilité, que possède la chambre noire, que possède par suite un système de chambres noires solidaires entres elles, il suffit d'éclairer par derrière ce système pour projeter dans l'espace une image réelle qui occupe la place du point A qui a posé. Il en est de même pour les autres points B, C, D du sujet photographié. Tous ces points se trouvent reconstitués sous la forme d'images aériennes.

4. Les procédés de développement ordinairement employés donnent un négatif. L'œil voit donc un négatif; de plus il y a renversement de droite à gauche et de haut en bas; il est donc nécessaire d'opérer un double redressement, photographique et géométrique.

On peut obtenir ce double renversement en copiant l'épreuve négative N sur une plaque vierge P, construite de la même manière que N. Pour faire cette copie, il faut mettre vis-à-vis l'une de l'autre les deux plaques, les faces antérieures, c'est-à-dire les petites lentilles, en regard, à une distance arbitraire. Le contact n'est pas nécessaire, non plus que le parallélisme des deux plaques. Les cellules peuvent avoir des dimensions différentes sur les deux plaques.

Après développement et fixage, la plaque P donne une image po-

(1) Dans le cas d'un paysage, d'un sujet à trois dimensions, il peut y avoir des parties cachées qui changent avec le point de vue.

sitive redressée virtuelle et égale à l'objet; en d'autres termes, cette image est coïncidente avec l'objet photographié.

Pour le démontrer, considérons encore un point matériel A faisant partie de l'objet à reproduire. On l'a photographié d'abord sur la plaque N; supposons que celle-ci soit restée en place pendant les opérations photographiques. Si on l'éclaire ensuite par derrière, les rayons émergents forment, en l'air, un large faisceau qui converge vers A. Interposons maintenant les plaques P sur le trajet de ces rayons convergents. Une cellule quelconque de P fait converger les rayons qu'elle reçoit vers un point a' situé sur sa couche sensible; a' est l'image du point A, qui constitue dans ce cas un objet virtuel; a' est fixé photographiquement; quand on l'éclaire ensuite, a' fournit des rayons qui parcourent le même chemin qu'à l'entrée; mais en sens inverse, c'est-à-dire que les rayons émergents divergent à partir de A. Le système de tous les points tels que a' fournit donc un large faisceau divergent à partir du point A; en d'autres termes, ce point fournit une image virtuelle de A coïncidant avec A. Il en est de même de tous les points B, C, D de l'objet à photographier. L'œil voit donc une image virtuelle coïncidant avec l'objet.

L'aspect de cette image est celle même de l'objectif. Comme dans le cas d'une image virtuelle donnée par un miroir plan, on croit revoir l'objet en vraie grandeur au delà de l'appareil; l'image se déplace et change d'aspect quand l'obturateur se déplace; enfin l'aspect est différent pour les deux yeux, et le relief stéréoscopique binoculaire se produit avec l'aide d'un stéréoscope, comme dans le cas d'un miroir plan.

Enfin l'image donnée par P était virtuelle et égale à l'objet, l'œil accommode comme il le ferait pour l'objet, et sa distance à la plaque peut être quelconque.

5. Si la théorie de la plaque réversible est très simple, en revanche sa construction présente des difficultés techniques sérieuses. Je n'ai pu jusqu'à présent la réaliser que d'une manière très imparfaite, assez cependant pour vérifier le principe même du système, l'existence de l'image aérienne et unique, résultante des petites images cellulaires.

Quelques tentatives faites pour utiliser une lame de collodion moulée à chaud comme lame transparente ont donné de mauvais résultats. Le collodion et le colluloïd sont des matières optiquement

détestables. M. de Chardonnet a bien voulu me conseiller de renoncer à leur emploi et de constituer chaque cellule par une tigelle de verre convenablement taillée; je me suis bien trouvé de suivre son avis.

On trouve dans le commerce de petites loupes Stanhope, ayant la forme de bâtonnets dont chacune a environ 6 millimètres de longueur, et une section carrée de 2^{mm},3 de côté; l'une des extrémités est terminée par une surface sphérique; l'autre plane et à peu près au foyer de la première. Ces bâtonnets ont été accolés de manière à mettre leurs extrémités planes dans un même plan; on avait pris soin de noircir les surfaces latérales accolées avec du verni japon; enfin les surfaces ont été enduites d'une émulsion au gélatino-bromure sans grains.

Des plaques ainsi constituées ont été exposées devant divers objets (fenêtre, lampe à incandescence). J'ai pu voir, après développement et fixage, l'image résultante unique, en vraie grandeur. Cette image est dans l'espace, car elle demeure immobile quand on déplace la plaque parallèlement à elle-même; au contraire, elle suit les mouvements de l'œil quand la plaque demeure immobile : ce sont autant de vérifications de la théorie.

La continuité de l'image unique est indépendante de la dimension des cellules : elle est assurée, si les cellules sont accolées par des surfaces d'opposition négligeable. Pourvu que la couche de pigment qui lui répond soit très mince, il n'y aurait pas d'inconvénient à augmenter encore les dimensions de ses éléments, sauf que la plaque deviendrait plus épaisse et plus massive; par contre, il paraît devoir être plus facile de construire avec finesse des éléments qui ne soient pas trop petits.

RECHERCHES SUR LES PROPRIÉTÉS OPTIQUES DES SOLUTIONS ET DES CORPS DISSOUS⁽¹⁾;

Par M. C. CHÉNEVEAU.

De nombreux travaux ont été publiés sur la réfraction des solutions. Les uns, d'ordre expérimental, ont souvent mené à des conclu-

(1) Séance du 3 juillet 1908. Cet article est le résumé d'une thèse soutenue en juin 1907 devant la Faculté des Sciences de Paris (*Ann. de Ch. et de Phys.*, t. XII, 8^e série, 1907, p. 218 et 289).

sions contradictoires, parce qu'à mon avis certains auteurs ont cru atteindre dans leurs mesures une exactitude qu'ils ne pouvaient obtenir; les autres, d'ordre théorique, ont permis de rattacher aux diverses hypothèses sur la nature de la lumière les faits que l'expérience paraissait avoir le plus solidement établis. L'étude de la dispersion a été beaucoup plus négligée.

Je vais essayer de résumer ici les recherches que je poursuis depuis plusieurs années sur le pouvoir réfringent et le pouvoir dispersif des solutions.

Je n'insisterai pas sur les méthodes et les appareils de mesure. J'ai utilisé plus particulièrement pour la mesure de la réfraction le réfractomètre de précision de Féry, pour la mesure de la dispersion le réfractomètre de précision de Pulfrich; la modification apportée au réfractomètre de Féry, sous le nom de spectroréfractomètre⁽¹⁾, m'a servi à contrôler certains résultats. J'ai pu vérifier ces divers appareils à l'aide d'une méthode absolue d'autocollimation: pour l'application de cette méthode, un appareil définitif est à l'étude, et j'espère y revenir prochainement.

I. Si l'on admet que la contraction de volume due à la solution d'un corps entraîne, aux erreurs d'expérience près, une variation équivalente de l'indice, on peut trouver théoriquement l'influence du corps dissous dans un seul solvant sur la propagation de la lumière, soit dans le cas où la loi de Gladstone (Beer et Landolt), $\frac{n-1}{d} = C^u$, soit dans le cas où la loi de Lorentz (Lorenz) $\frac{n^2-1}{(n^2+2)d} = C^e$, sont applicables⁽²⁾.

(1) *J. de Phys.*, 4^e série, t. V, 1906, p. 649.

(2) La loi de Gladstone (Gladstone et Dale, *Phil. Transactions*, t. CXLVIII, 1858, p. 889, est une conséquence de cette considération que le retard optique apporté à la propagation de la lumière par la matière dépend de l'épaisseur de matière traversée, c'est-à-dire du nombre de molécules et conséquemment de la densité.

Dans les idées de Clausius sur les diélectriques, la loi de Lorentz entraîne la conception de particules sphériques conductrices séparées par des intervalles vides de matière. M. G. Sagnac (*J. de Phys.*, 4^e série, t. VI, 1907, p. 273) a donné une démonstration très simple et très rapide de la loi de Lorentz en s'appuyant sur les idées de Clausius et de sir W. Thomson relatives aux diélectriques.

La loi $\frac{n^2-1}{(n^2+2)d} = C^e$ peut s'établir, comme Lorentz l'a montré le premier (*Wied. Ann.*, t. IX, 1880, p. 644), en s'appuyant sur la théorie électromagnétique de la lumière.

En même temps que Lorentz, Lorenz (*Wied. Ann.*, t. XI, 1880, p. 70) arrivait à la même formule en admettant que les corps étaient composés de molécules

On peut en effet montrer d'abord que, pour la solution, $n - 1$ ou $g = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}$ ⁽¹⁾ est la somme de deux termes, l'un $\Delta_1 = n_s - 1$ ou $g_s = \Delta_2 = \frac{n_s^2 - 1}{n_s^2 + 2}$ provenant du corps dissous, l'autre $n_c - 1$ ou $g_c = \frac{n_c^2 - 1}{n_c^2 + 2}$ provenant du solvant, et ensuite que l'on peut calculer l'indice actuel du solvant dans la dissolution en supposant vraies la loi de Gladstone ou la loi de Lorentz pour les variations de l'indice avec le volume.

L'influence du corps dissous sur la propagation de la lumière, ainsi déterminée par différence entre l'action optique de la solution mesurée directement et celle du solvant que l'on peut calculer, a été d'abord étudiée dans les solutions aqueuses; mais cette manière d'opérer est générale et permet également d'obtenir l'influence optique du corps dissous dans plusieurs solvants à la fois. Or, s'il n'y a pas, en général, de relation simple entre l'indice et la composition de la solution en volume ni le pourcentage en poids, ni la concentration (les représentations graphiques de ces relations ne permettent d'ailleurs jamais de mettre en évidence des hydrates définis, sauf lorsqu'elles présentent un maximum), l'influence du corps dissous sur la propagation de la lumière, Δ , est, quelle que soit la loi reliant l'indice à la densité, sensiblement proportionnelle à la concentration C (teneur en grammes du corps par litre de solution).

Par exemple la *fig. 1* montre nettement que, pour l'acide sulfurique, la loi est exacte aux erreurs d'expérience près, qu'il s'agisse des formules de Gladstone (courbe III) ou de Lorentz (courbe IV); elle montre aussi la non-proportionnalité de l'indice n au pourcentage en poids p (courbe I) ou à la concentration C (courbe II).

séparées par des intervalles dans lesquels la vitesse de la lumière égalait celle qu'elle a dans le vide, intervalles non influencés par les variations de température et de volume.

Ketteler a proposé la formule suivante : $\frac{n^2 - 1}{(n^2 + x)d} = C^*$. Si $x = 0$, $\frac{n^2 - 1}{n^2 d} = C^*$. M. Sagnac (*J. de Phys.*, 4^e série, t. VI, 1907, p. 27) a montré qu'une telle formule pouvait se démontrer en admettant que les corps sont formés de lamelles conductrices séparées par des intervalles vides de matière.

(1) Dans l'hypothèse de Clausius, g est la fraction de l'unité de volume occupée par l'ensemble des sphères élémentaires représentant les particules matérielles que renferme cette unité de volume.

Le maximum des courbes I et II décèle l'hydrate $\text{SO}^1\text{H}^2, \text{H}^2\text{O}$.

La fig. 2 donne également pour l'acide sulfurique les variations d'indices entraînées par la contraction de volume de la solution en fonction du volume de la solution.

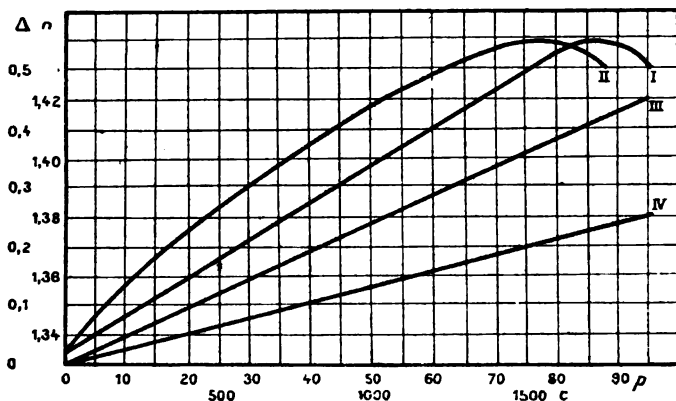


FIG. 1.

La courbe I de $\eta = \frac{n - n_0}{n}$ [n , indice de la solution ; n_0 , indice calculé par la loi $(n_1 - 1)v_1 + (n_2 - 1)v_2 = (n_0 - 1)(v_1 + v_2)$ (n_1, n_2 , indices du solvant et du corps dissous ; v_1, v_2 , volumes du solvant et du corps dissous)] passe par un maximum en même temps que la courbe II donnant le coefficient de contraction $c = \frac{v_1 + v_2 - V}{v_1 + v_2}$, V , volume de la solution. Ce maximum correspond à l'hydrate $\text{SO}^1\text{H}^2, 2\text{H}^2\text{O}$, c'est-à-dire à la plus grande contraction qu'on puisse obtenir en mêlant de l'eau à l'acide sulfurique.

II. La même loi de proportionnalité de l'influence optique du corps dissous à la concentration se retrouve dans ce qu'on appelle les mélanges de liquides, par exemple pour les mélanges d'alcool et d'eau. Il ne faut pas s'en étonner, car on attribue, en général, d'une manière impropre, le mot de mélanges à de véritables dissolutions de liquides.

On devrait considérer le mélange de deux liquides comme on a envisagé les gaz dans la loi de Biot et Arago⁽¹⁾, c'est-à-dire comme

(1) On a reconnu depuis qu'il y avait des variations de volume dont on devait tenir compte.

une association de ces liquides n'entraînant pas de variation de volume. En réalité, lorsqu'on mêle deux liquides, on observe toujours une contraction ou une dilatation, si faible qu'elle soit ; on a alors une dissolution.

La loi dite des mélanges, avec laquelle on peut calculer l'indice d'un mélange ou plutôt d'une dissolution de liquides, connaissant l'indice des constituants et la proportion de chaque corps dans un mélange, paraît plus exacte lorsqu'on emploie la loi de Lorentz, surtout

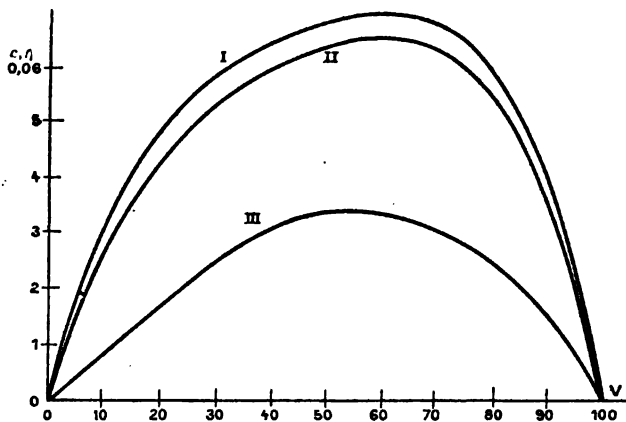


FIG. 2.

dans le cas de dissolutions pour lesquelles la variation de volume est faible. Pour des dissolutions dans lesquelles la contraction ou la dilatation est plus importante, la loi de Gladstone et celle de Lorentz paraissent équivalentes.

III. Pour les corps, et surtout pour les sels, à l'état dissous, dans une solution aqueuse, la loi de proportionnalité de la grandeur optique Δ à la concentration C est assez exacte pour que la valeur moyenne du rapport $K = \frac{\Delta}{C}$ donne, pour chaque corps dissous, une constante qui le caractérise. J'ai proposé de donner à la constante K le nom de constante optique du corps dissous. Cette constante optique, qui varie peu avec la température, du moins entre les limites restreintes de mes expériences⁽¹⁾, a une valeur

⁽¹⁾ Il semble que, si la température agit sur la constante optique, la cause paraît être uniquement la variation de volume de la solution (C. R., t. CXLV, p. 1332; 1907).

particulière pour chaque radiation de longueur d'onde déterminée.

IV. Pour les sels surtout, l'influence du corps dissous sur la marche des rayons lumineux paraît bien être une propriété atomique additive, indépendante de l'état d'ionisation du corps dissous⁽¹⁾, ne dépendant pas non plus des hydrates qui ont pu se former dans la solution⁽²⁾.

V. La constante optique K du corps dissous dans l'eau diffère peu de la valeur obtenue lorsque le corps est en solution dans un autre solvant. Le degré d'approximation de cette loi ressort de l'examen du tableau suivant dans lequel j'ai rassemblé les résultats pour LiCl, d'après divers auteurs, pour des concentrations compa-

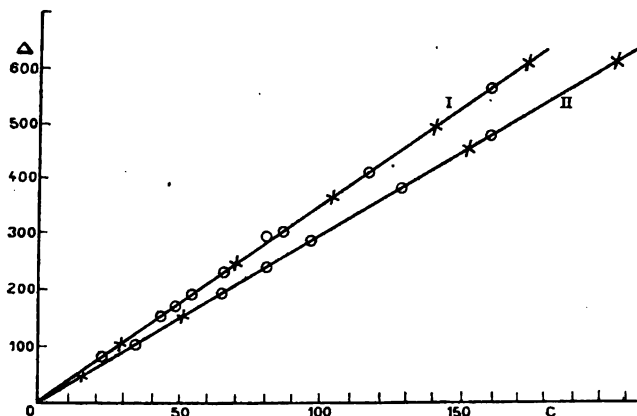


FIG. 3.

rables (fig. 3, courbe I; dissolutions dans les divers alcools : ⊙; dans l'eau : ×; la courbe II se rapporte à CaCl_2).

(1) BARY, *C. R.*, t. CXVIII, 1894, p. 71. — CHÉNEVEAU, *C. R.*, t. CXXXVIII, 1904, p. 1485. — DIJKEN, *Z. f. ph. Ch.*, t. XXIV, 1897, p. 81. — GLADSTONE et HIBBERT, *J. of Ch. S.*, t. LXVII, 1895, p. 831. — HALLWACHS, *Wied. Ann.*, t. LIII, 1894, p. 1; t. LXVIII, 1899, p. 1. — LE BLANC et ROHLAND, *Z. f. ph. Ch.*, t. XIX, 1896, p. 261. — ZECCHINI, *Gaz. chim. italiana*, t. XXXV, 1903, p. 65.

(2) CHÉNEVEAU, *C. R.*, t. CXXXVIII, 1904, p. 1483.

1° LiCl DANS L'EAU.

Gladstone et Hibbert (1)		Chéneveau		Beer et Kremers (2)	
p	K. 10 ⁶	p	K. 10 ⁶	p	K. 10 ⁶
43,4	341	1 ^{re} Série		40,09	342
24,1	348	43,44	340	24,53	347
13,1	348	30,31	347	Conroy (4)	
10,59	353	2 ^e Série		4,15	349
6,77	350	32,16	346	2,10	348
5,10	355	25,15	347	Dijken (5)	
Walter (3)		17,52	349	1,05	346
33,0	343	9,17	347	0,26	344
20,3	347	3 ^e Série			
8,76	346	16,12	348		
4,20	345	13,10	350		
		9,99	351		
		8,39	351		
		6,77	351		
		3,44	352		

2° LiCl DANS QUELQUES ALCOOLS.

Chéneveau		Gladstone et Hibbert (6)		Andrews et Ende (7)	
p	K. 10 ⁶	p	K. 10 ⁶	p	K. 10 ⁶
CH ⁴ O		C ² H ⁶ O		C ³ H ⁸ O	
17,49	348	1 ^{re} Série		6,46	349
13,11	349	19,44	344	5,71	353
9,41	349	11,76	350	5,05	352
5,12	351	2 ^e Série		3,40	351
C ² H ⁶ O		13,7	351	2,57	354
10,04	343	10,7	350		
7,69	350	8,1	353		
5,24	352	3 ^e Série			
2,68	352	14,2	352		
		11,56	356		
		9,17	356		
		C ³ H ⁸ O			
		11,29	345		

(1) *J. of Ch. S.*, t. LXVII, 1895, p. 831.

(2) *Pogg. Ann.*, t. CI, 1857, p. 133.

(3) *Wied. Ann.*, t. XXXVIII, 1889, p. 107.

(4) *Proc. of Roy. Soc.*, t. LXIV, 1899, p. 308.

(5) *Z. f. ph. Ch.*, t. XXIV, 1897, p. 81.

(6) *J. of Ch. S.*, t. LXXI, 1897, p. 822.

(7) *Z. f. ph. Ch.*, t. XVII, 1895, p. 141.

VI. J'ai alors montré que, puisque l'ionisation agit très peu sur la réfraction du corps dissous, toute anomalie optique sera, en l'absence d'impuretés du corps dissous, l'indice d'une modification chimique au sein de la dissolution. On peut donc ainsi étudier ce qui se passe dans une solution sans l'altérer et dans les conditions mêmes où elle se trouve ⁽¹⁾.

J'ai, par exemple, appliqué ce procédé d'investigation au titrage de l'eau contenue dans un sel cristallisé ou dans une solution, à la recherche de l'état d'un corps en solution, à la recherche d'une combinaison dans la dissolution de plusieurs corps.

Je tiens à faire remarquer ici que, quand on dissout un sel cristallisé dans l'alcool, toute l'eau de cristallisation passe toujours dans l'alcool ; bien qu'observé sur un petit nombre de cas, ce fait, indiqué par l'étude optique et basé sur ce que l'eau de combinaison a le même pouvoir optique que l'eau ordinaire ou de mélange, peut s'expliquer :

1° Parce que, dans leurs solutions, les sels ne subsistent pas toujours nécessairement avec les molécules d'eau qui font partie de leur molécule cristallisée [Marie et Marquis ⁽²⁾] ;

2° Ou bien parce que les hydrates cristallisés ne sont que des empilements réguliers de molécules salines et de molécules du dissolvant [J. Perrin ⁽³⁾].

VII. Si l'on définit comme pouvoir réfringent moléculaire du corps dissous (K_M) le produit de sa constante optique par son poids moléculaire, et comme pouvoir réfringent équivalent (K_e), le quotient du pouvoir réfringent moléculaire par la valence qui unit les deux ions dans la molécule ionisable, on peut énoncer les lois approchées suivantes ⁽⁴⁾ :

1° La différence des pouvoirs réfringents équivalents de deux sels de bases B et B' unis à un même acide est un nombre indépendant de la nature de l'acide (tableau I) ; les nombres en chiffres ordinaires se rapportent à la loi de Gladstone (K_1), ceux en caractères gras à la loi de Lorentz (K_2) :

(1) CHÉNEVEAU, *C. R.*, t. CXLII, 1906, p. 1520.

(2) *C. R.*, t. CXXXVI, 1903, p. 684.

(3) Communication faite à la Société de Physique, 19 avril 1907.

(4) BENDER, *Wied. Ann.*, t. XXXIX, 1890, p. 89. — CHÉNEVEAU, *C. R.*, t. CXXXVIII, 1904, p. 1578. — DIKEN, *Z. f. ph. Ch.*, t. XXIV, 1897, p. 81, etc.

TABLEAU I.

	Cl	$\frac{1}{2} \text{SO}_4$	AzO ³	I
AzH ¹ — H.....	0,0082	0,0083	0,0081	0,0079
	46	48	45	»
AzH ¹ — Li.....	0,0077	0,0077	0,0077	»
	46	47	48	»
AzH ¹ — Na.....	0,0069	0,0067	0,0067	0,0072
	41	42	42	»
AzH ¹ — K.....	0,0037	0,0034	0,0034	0,0035
	21	21	22	»
AzH ¹ — Rb.....	0,0008	0,0007	»	»
AzH ¹ — $\frac{\text{Al}}{3}$	0,0086	0,0081	»	»
AzH ¹ — $\frac{\text{Mg}}{2}$	0,0081	0,0082	0,0076	»
	47	51	51	»
AzH ¹ — $\frac{\text{Ca}}{2}$	0,0064	»	0,0065	»
AzH ¹ — $\frac{\text{Cu}}{2}$	0,0061	0,0058	0,0059	»
	40	40	41	»

2° La différence des pouvoirs réfringents équivalents de deux sels de groupes acides A et A' unis à une même base est un nombre indépendant de la nature de la base (tableau II).

TABLEAU II.

	AzO ³ —Cl	Cl— $\frac{1}{2} \text{SO}_4$	AzO ³ — $\frac{1}{2} \text{SO}_4$	I—Br	I—Cl
H.....	0,0032	0,0028	0,0060	0,0115	0,0179
	24	15	39	»	»
Li.....	31	27	57	»	»
	18	17	35	»	»
AzH ¹	31	27	58	»	176
	20	16	36	»	»
Na.....	33	26	59	113	173
	19	17	36	»	»
K.....	34	24	58	113	178
	21	15	36	»	»
Rb.....	»	26	»	»	»
$\frac{1}{2} \text{Cu}$	33	24	57	»	»
	17	18	35	»	»
$\frac{1}{2} \text{Zn}$	41	21	59	»	183

TABLEAU II (Suite).

	AzO ³ -Cl	Cl- $\frac{1}{2}$ SO ⁴	AzO ³ - $\frac{1}{2}$ SO ⁴	I-Br	I-Cl
$\frac{1}{2}$ Cd	00,036	0,0021	0,0057	0,0116	0,0178
$\frac{1}{2}$ Sr	31	"	"	"	"
$\frac{1}{2}$ Ba	31	"	"	"	"
$\frac{1}{2}$ Mg	36	28	64	"	"
	24	16	40	"	"
$\frac{1}{2}$ Ca	"	30	"	"	"
$\frac{1}{3}$ Al	"	22	"	"	"

Mais il n'est pas possible de déduire de ces lois d'additivité des modules pour les divers ions ⁽¹⁾, et le fait que ces lois ne sont pas rigoureuses entraîne évidemment comme conséquence la possibilité de mettre en évidence l'action chimique dans une solution.

Le pouvoir réfringent moléculaire, pour chaque série de sels, varie, en première approximation, comme la racine carrée du poids moléculaire. Le tableau III donne, dans quelques cas, le quotient $K_M : \sqrt{M}$.

TABLEAU III.

M'	AzO ³ M''	CM'	SO ⁴ M''	M'	(AzO ³) ₂ M'	Cl ² M'	SO ⁴ M'
H	0,0022	0,0024	0,0023	Mg	0,0030	0,0029	0,0021
Li	22	23	23	Cu	29	29	23
Na	21	21	22	Zn	29	27	22
K	22	22	25	Sr	28	27	"
Rb	"	20	24	Ba	28	27	"
Ag	21	"	"	Pb	29	"	"
Tl	"	"	25				

VIII. Le corps dissous paraît bien se comporter, au point de vue optique, comme un gaz.

On peut déduire de cette analogie que les expériences sur les solutions permettent mieux que des expériences directes de vérifier l'exactitude des lois reliant l'indice et la densité, quel que soit l'état d'un corps. En effet, le passage du corps non dissous à l'état dissous se fait à la pression atmosphérique. Les mesures pour les deux états

⁽¹⁾ Si la loi était exacte, il faudrait connaître, au moins, la valeur absolue du pouvoir réfringent de l'un des ions.

sont effectuées à la même température. On n'a donc pas à surmonter des difficultés, comme, par exemple, celles qui se présentent lorsqu'on veut comprimer un corps dans de larges limites (on n'a pas dépassé pour un gaz de pression de 130 atmosphères), ce qu'on ne peut d'ailleurs faire sans craindre des polymérisations (action de la pression). On peut également éviter des erreurs systématiques par ce fait qu'on devra opérer à des températures différentes pour étudier un même corps sous deux états distincts (action de la température). Cependant de nouvelles expériences sur un même corps à l'état non dissous, puis dissous, seraient nécessaires pour affirmer que la constante optique est bien la même dans les deux cas ⁽¹⁾.

IX. Les lois de Gladstone et de Lorentz paraissent sensiblement équivalentes quand on considère uniquement l'action du corps dissous sur la réfraction.

Si l'on compare le corps dissous au corps non dissous, on ne peut pas non plus conclure nettement à l'avantage d'une loi sur l'autre, ce qui peut s'expliquer par ce fait que, dans la formule de Lorentz, la plus grosse partie de la variation vient de la variation de $n - 1$, étant donné que :

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = (n - 1) \frac{n + 1}{n^2 + 2}.$$

ce qui entraîne : $K_2 = K_1 \frac{n + 1}{n^2 + 2}$.

Si le facteur $\frac{n + 1}{n^2 + 2}$ reste sensiblement invariable, on voit que les variations de K_1 et de K_2 se produiront dans le même sens.

On voit aussi par l'exemple donné ci-dessous qu'on ne peut dire quelle est la loi la plus avantageuse des lois de Newton, de Gladstone ou de Lorentz :

(1) Divers auteurs ont fait des expériences sur des sels cristallisés n'appartenant pas au système cubique, avec lesquels il est plus logique cependant d'opérer. Tutton (*J. of Ch. Soc.*, t. LXXI, 1897. p. 236 et 911) a, par exemple, étudié les pouvoirs réfringents des sulfates et sélénates normaux de K, Rb, Cs, à l'état cristallisé et à l'état dissous. Les écarts sont de 1 à 2 0/0 des valeurs trouvées pour ces pouvoirs réfringents. [La différence entre le pouvoir réfringent de l'éther à 10° (liquide) ou à 100° (vapeur) est environ de $\frac{1}{75}$ de ce pouvoir réfringent.]

Remarquons que, malgré ce résultat, l'indice du sel cristallisé, calculé d'après le pouvoir réfringent du corps dissous, différerait néanmoins de l'indice vrai d'une quantité portant sur la 2^e décimale.

Corps	Variations relatives des constantes optiques pour la raie D quand on compare le corps dissous au corps non dissous		
	Loi de Newton	Loi de Gladstone	Loi de Lorentz
(AzO ³) ² Pb	20,0	10,4	8,3
Kl.....	1,6	3,0	6,6

La loi de Lorentz paraît cependant plus exacte que les lois de Gladstone et de Newton, si l'on tient compte de la dispersion.

Pour tenir compte de la dispersion, j'ai fait une comparaison entre les indices des corps dissous obtenus directement à l'aide d'une des trois lois pour plusieurs raies du spectre solaire C, D, F, et les indices que l'on obtient en les calculant, par les même lois et pour les mêmes raies, à l'aide de la constante optique du corps non dissous. La comparaison entre les deux cas est faite par la considération du pouvoir dispersif moyen du corps dissous :

$$\frac{(n_s)_F - (n_s)_C}{(n_s)_D - 1} = \delta;$$

on obtient, par exemple, les résultats suivants pour la comparaison des trois lois au point de vue de la réfraction ⁽¹⁾ et au point de vue de la dispersion relative aux raies C et F ⁽²⁾ :

(1) Les cas I et II se rapportent : le premier, à l'indice du corps dissous obtenu d'après la constante du corps dissous (n_{s_1}) ; le deuxième, à l'indice du corps dissous calculé avec la constante du corps non dissous (n_{s_2}). Les lois sont comparées pour la réfraction à l'aide de la variation relative pour la raie D, en passant d'un cas à l'autre, et en donnant à cette variation une valeur toujours positive suivant que n_{s_2} est plus grand ou plus petit que n_{s_1} . Par exemple, cette variation est :

$$\frac{(n_{s_2} - 1) - (n_{s_1} - 1)}{n_{s_2} - 1}, \quad \text{si } n_{s_2} > n_{s_1}.$$

On voit que les résultats obtenus sont bien, au moins pour les lois de Gladstone et de Lorentz, dans le même sens que ceux du tableau précédent où intervenaient les constantes optiques.

(2) On verra, note I, d'autres comparaisons qui donnent toutes l'avantage à la loi de Lorentz. L'ordre de grandeur des erreurs montre que les écarts peuvent souvent être considérés comme égaux ou inférieurs à ces erreurs dans le cas de la loi de Lorentz, alors qu'ils sont nettement supérieurs aux erreurs pour la loi de Gladstone.

(AzO³)²Pb. — Solution : 30,1 0/0

Loi de :	n_x				$\delta = \frac{F-C}{D-1}$	Variation relative de n_x , — 1 0'0 (Réfraction)	Variation relative de δ 0'0 (Dispersion)
	C	D	F				
Newton	I....	1,0815	1,0821	1,0864	0,0597	11,1	9,4
	II...	1,0910	1,0923	1,0960	0,0541		
Gladstone	I....	1,0652	1,0660	1,0677	0,0378	4,9	9,5
	II...	1,0686	1,0694	1,0715	0,0418		
Lorentz	I....	1,0568	1,0573	1,0587	0,0331	1,4	1,5
	II...	1,0560	1,0565	1,0579	0,0336		

KI. — Solution : 32,06 0/0

Newton	I....	1,1098	1,1116	1,1163	0,0582	11,7	12,8
	II...	1,1212	1,1264	1,1276	0,0507		
Gladstone	I....	1,0907	1,0919	1,0950	0,0467	4,9	7,3
	II...	1,0890	1,0902	1,0929	0,0433		
Lorentz	I....	1,0809	1,0817	1,0835	0,0318	6,2	1,6
	II...	1,0759	1,0766	1,0783	0,0313		

Il y a lieu de rechercher encore si ce procédé de comparaison est suffisant ou s'il y a un moyen plus exact et plus rapide d'arriver au même but.

X. La loi de Lorentz paraît non seulement plus avantageuse dans les comparaisons que je viens de donner, mais c'est la loi qui a la signification théorique la plus précise quand on considère la dispersion comme une fonction de l'absorption.

Je vais donner un aperçu rapide de la théorie qui permet d'établir cette loi, la loi des mélanges et la loi de dispersion ⁽¹⁾.

Imaginons que l'atome d'un corps transparent, à dispersion normale, est constitué par un ou plusieurs centres chargés positivement, dont la masse est de l'ordre de grandeur de celle de l'atome, autour desquels peuvent graviter des corpuscules négatifs ou électrons dont la masse est le $\frac{1}{1000}$ de l'atome d'hydrogène ⁽²⁾. On peut sup-

(1) Pour cette théorie, voir H.-A. LORENTZ (*Arch. Néerl.*, t. XXV, p. 361; 1892); — *les Quantités élémentaires d'électricité*, par ABRAHAM et LANGEVIN, 1905, p. 430 et suivantes; — P. DRUDE, *Lehrbuch der Optik*, 1900, p. 360; 2^e édition, 1906, p. 371 à 381; — M. PLANCK, *Sitzungsber. d. Akad. Berlin*, t. XXIV, 1902, p. 21; — P. LANGEVIN, Cours professé au Collège de France, 1905-1907; — L. NATANSON, *Bull. Acad. Sc. Cracovie*, n^o 4, avril 1907, p. 316.

(2) Le mot de *corpuscule* est employé de préférence quand on considère la matière et la charge; le terme *électron*, quand on considère la charge sans son support matériel.

poser que la lumière se propage dans le corps en mettant en vibration ces centres ou ces électrons, que je désignerai sous le nom général de particules.

Toutes ces particules ne sont pas de même espèce ; elles ont une période propre d'oscillation qui dépend évidemment de leur masse.

1° Considérons des particules de *même espèce*, c'est-à-dire dont la pulsation $\left(\frac{2\pi}{T}\right)$ est la même. Ces particules, de charge électrique e et de masse mécanique m , sont à l'état de repos ; elles sont écartées de leur position d'équilibre par l'action périodique de la lumière :

$$(1) \quad X = X_0 \sin \omega t$$

$\left(\omega = 2\pi \frac{V}{\lambda} ; V, \text{ vitesse de la lumière dans le corps ; } \lambda, \text{ longueur d'onde de la radiation lumineuse}\right)$. Elles sont attirées vers cette position par une force proportionnelle à leur déplacement x ; l'équation du mouvement est donc de la forme :

$$(2) \quad m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = Xe.$$

On conçoit alors que ces particules dont la période propre d'oscillation est ω_0 puissent vibrer synchroniquement avec l'ébranlement, c'est-à-dire que, la résonance établie, le déplacement des particules soit également périodique :

$$(3) \quad x = x_0 \sin \omega t.$$

On déduit des trois équations précédentes :

$$(4) \quad x = \frac{X_0 e}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}.$$

Or le déplacement x de toute charge e entraîne la création d'un moment électrique ex .

Pour N particules par unité de volume, la somme des moments ou polarisation diélectrique est Nex . La polarisation diélectrique est donc une fonction sinusoïdale du temps.

Alors, d'une part, le champ lumineux X est égal au champ électrique h , augmenté d'une quantité proportionnelle à la polarisation diélectrique :

$$(5) \quad X = h + 4\pi\beta \cdot Nex.$$

D'autre part, si H est le champ magnétique normal au champ électrique h (ces deux champs étant des fonctions périodiques) et si l'on applique les équations de relation entre ces vecteurs que fournit la théorie électromagnétique⁽¹⁾, ces équations, jointes aux équations (4) et (5), mènent à la relation :

$$(6) \quad n^2 - 1 = \frac{4\pi N e^2}{m (\omega_0^2 - \omega^2)} [1 + \beta (n^2 - 1)],$$

en définissant l'indice de réfraction n du milieu comme le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide à la vitesse de la lumière dans le corps.

Dans le cas où l'on suppose que les particules sont placées dans des cavités sphériques, le coefficient $\beta = \frac{1}{3}$, et l'on déduit que, pour un corps de densité d :

$$\frac{n^2 - 1}{(n^2 + 2)d} = C^{\text{te}},$$

c'est-à-dire la loi de Lorentz.

XI. 2° S'il y a plusieurs espèces de particules,

$$n^2 - 1 = \sum \frac{\gamma X}{h},$$

$$\gamma = \frac{4\pi N e^2}{m (\omega_0^2 - \omega^2)} = \frac{N e^2}{\pi m \left(\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda^2} \right)},$$

$$X_1 = h + 4\pi (\beta_{1,1} P_1 + \beta_{1,2} P_2 + \dots),$$

$$X_2 = h + 4\pi (\beta_{2,1} P_1 + \beta_{2,2} P_2 + \dots), \text{ etc.,}$$

$\beta_{1,1}$, $\beta_{2,2}$, etc..., représentant les coefficients correspondant aux actions des particules d'espèce 1 et d'espèce 2 sur elles-mêmes ; $\beta_{1,2}$, $\beta_{2,1}$, etc..., représentant les coefficients correspondant aux actions des particules d'espèce 1 sur celles d'espèce 2 et réciproquement.

a) Supposons qu'il n'y ait que deux espèces de particules en présence et que les actions réciproques des particules d'une espèce sur

(1) Ces équations sont :

$$\text{rot. } h = \frac{\partial h}{\partial z} = \mu \frac{\partial H}{\partial t},$$

$$\text{rot. } H = - \frac{\partial H}{\partial z} = \frac{\partial h}{\partial t} + 4\pi \frac{\partial P}{\partial t}.$$

celles de l'autre espèce soient égales ($\beta_{1,2} = \beta_{2,1}$). Dans le cas de cavités sphériques, on aura :

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \Sigma \frac{n_i^2 - 1}{n_i^2 + 2};$$

n est, par exemple, l'indice d'une dissolution ou d'un mélange de densité D ; n_i et d_i sont, d'une manière générale, l'indice et la densité d'un corps dissous constituant. Si la masse totale de la dissolution est $P = \Sigma p_i$, comme $D = \Sigma d_i$, on a :

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{P}{D} = \Sigma \frac{n_i^2 - 1}{n_i^2 + 2} \frac{p_i}{d_i}.$$

C'est l'expression de la loi des mélanges donnée la première fois, pour les gaz, par Biot et Arago.

XII. b) Si les actions mutuelles des particules sont nulles ($\beta_{1,2} = \beta_{2,1} = 0$), on arrive à une équation de la forme :

$$n^2 - 1 = \Sigma \frac{N_e^2 \lambda^2 \lambda_0^3}{\pi m (\lambda^2 - \lambda_0^2)} = \Sigma \frac{N_e^2 \lambda_0^3}{\pi m} \cdot \frac{1 - \lambda_0^2}{\lambda^2},$$

et comme :

$$\frac{1}{1 - \lambda_0^2} = 1 + \frac{\lambda_0^2}{\lambda^2 - \lambda_0^2},$$

on a finalement :

$$n^2 = 1 + \Sigma \frac{N_e^2 \lambda_0^2}{\pi m} + \Sigma \frac{N_e^2 \lambda_0^4}{\pi m (\lambda^2 - \lambda_0^2)}.$$

Si l'on pose la somme des deux premiers termes égale à b^2 et $M = \frac{N_e^2 \lambda_0^4}{\pi m}$,

$$n^2 = b^2 + \Sigma \frac{M}{\lambda^2 - \lambda_0^2}.$$

on reconnaît sous cette forme générale la formule de dispersion.

XIII. Dans le cas d'une seule bande d'absorption dans l'infrarouge ($\lambda_0 = \lambda_r$) et d'une seule bande d'absorption dans l'ultra-violet ($\lambda_0 = \lambda_v$), on sait que cette formule devient :

$$n^2 = b^2 + \frac{M_r}{\lambda^2 - \lambda_r^2} + \frac{M_v}{\lambda^2 - \lambda_v^2}.$$

C'est la forme que lui a donnée Helmholtz ⁽¹⁾. Ketteler ⁽²⁾, étant donné que $\lambda < \lambda_r$, remplace le deuxième terme par son développement en série en l'arrêtant au terme en λ^1 . Il arrive alors à une formule de dispersion de la forme :

$$(7) \quad n^2 = -k\lambda^2 + a^2 + \frac{M_\nu}{\lambda^2 - \lambda_r^2},$$

$$k = \frac{M_r}{\lambda_r^2}.$$

XIV. Drude ⁽³⁾ a calculé le coefficient k de la formule de Ketteler. Il a trouvé la valeur

$$(8) \quad k = \frac{0,296 \cdot 10^8 \cdot d}{\left(\frac{P}{v}\right)^2}$$

(d , densité; P , poids moléculaire; v , nombre de particules égales aux atomes agissant dans la molécule), en admettant que la bande d'absorption ou *les vibrations propres dans l'infra-rouge sont produites par la masse pondérable de la molécule chargée positivement*.

Si l'on calcule, d'autre part, la valeur du rapport $\frac{e}{m}$ des particules dont les vibrations propres dans l'ultra-violet donnent la bande d'absorption de longueur d'onde λ_ν , on a :

$$(9) \quad \frac{e}{m} = \frac{3,26 \cdot 10^{-4} P M_\nu}{p_\nu d \lambda_\nu^2}$$

(p_ν , nombre de particules; $\frac{M_\nu}{\lambda_\nu^2}$ se déduit de la courbe expérimentale de dispersion de la substance).

On trouve alors pour ce rapport des nombres variant entre $1,86 \cdot 10^7$ [moyenne des meilleurs nombres trouvés par Kauffmann ⁽⁴⁾. Simon ⁽⁵⁾ et Seitz ⁽⁶⁾ à l'aide des rayons cathodiques] et $1,50 \cdot 10^7$

(1) HELMHOLTZ, *Pogg. Ann.*, t. CLIV, 1875. — *J. de Phys.*, t. IV, 2^e série, 1885, p. 216; *Wied. Ann.*, t. XLVIII, 1893, p. 389.

(2) KETTELER, *Wied. Ann.*, t. XII, 1881, p. 481; t. XXX, 1887, p. 299.

(3) DRUDE, *Drude's Ann.*, t. XIV, 1904, p. 677.

(4) KAUFFMANN, *Göttingen Nachrichten*, 1903, p. 90. — Volume des ions d'Abraham et Langevin, p. 284 et 294.

(5) SIMON, *Wied. Ann.*, t. LXIX, 1899, p. 589.

(6) SEITZ, voir Drude, *loc. cit.*

[nombre déduit par Drude de la dispersion de l'hydrogène⁽¹⁾].

Il est donc logique d'admettre que les vibrations propres dans l'ultra-violet sont dues aux électrons ou corpuscules négatifs.

Inversement, si l'on adopte pour $\frac{e}{m}$ l'une des deux valeurs précédentes, on trouve une limite inférieure du nombre d'électrons p_v .

Drude a montré que la valeur de cette limite est une propriété additive des atomes ou groupes d'atomes qui forment la molécule : elle dépend de la structure chimique et est diminuée par la présence de liaisons doubles. Elle est à peu près égale au nombre de valences de la molécule, c'est-à-dire à la somme des valences des atomes⁽²⁾.

XV. J'ai essayé d'appliquer les considérations précédentes, tirées des formules d'Helmholtz ou de Ketteler, au cas d'un corps dissous. Je n'ai pas eu de bons résultats, et j'ai alors pensé, en opérant par analogie, d'après les données fournies par l'expérience, que l'on pourrait remplacer avec avantage dans ces formules de dispersion la valeur de $n^2 - 1$ par le terme de Lorentz $\frac{n^2 - 1}{n^2 + 1}$.

La théorie a légitimé ce procédé empirique en montrant qu'on peut établir une nouvelle formule où entre en effet la constante optique du corps dissous.

On peut, à cet effet, utiliser une méthode semblable à celle de Drude pour la loi en n^2 . Considérons le cas le plus général, c'est-à-dire admettons qu'il puisse y avoir plusieurs périodes propres dans l'ultra-violet. Si l'on retranche du terme qui caractérise l'influence d'un corps dissous sur la lumière le terme représentant l'action de l'infra-rouge, qui est, comme nous l'avons vu précédemment, — $k\lambda^2$ [équations (7) et (8)], il reste la part due aux vibrations propres ultra-violettes. Appelons n , l'indice de réfraction du corps dissous, à dispersion normale, d , la densité du corps dissous⁽³⁾; la formule de

(1) DRUDE a fait ce calcul à l'aide des expériences de KETTELIER (*Wied. Ann.*, t. XXX, 1887, p. 285) et de SIMON (*Wied. Ann.*, t. LIII, 1894, p. 556) sur l'eau ; de RUBENS sur la sylvine et le sel gemme (*Wied. Ann.*, t. LIV, 1895, p. 476) ; de RUBENS et NICHOLS sur le quartz (*Wied. Ann.*, t. LX, 1897, p. 418) ; de PASCHEN sur la fluorine (*Wied. Ann.*, t. LIII, 1894, p. 812).

SIERTSENA (*Académie des Sciences d'Amsterdam*, 1902, p. 499) a trouvé pour le rapport $\frac{e}{m}$ une valeur du même ordre de grandeur ($1,16 \cdot 10^7$), par la dispersion rotatoire magnétique.

(2) Voir à ce sujet ABEAG (*Z. f. anorg. Ch.*, t. XXXIV, 1904, p. 330).

(3) d = pD ; p grammes du corps pour 100 grammes de solution ; D , densité de la solution.

Ketteler, modifiée d'après les idées de Drude et la supposition que le facteur de Lorentz doit remplacer la réfraction ($n^2 - 1$), deviendra ⁽¹⁾ :

$$(10) \quad \frac{n_s^2 - 1}{n_s^2 + 2} + \frac{0,296 \cdot 10^8 d_s \lambda^2}{\left(\frac{P}{v}\right)^2} = \sum \frac{N_\nu \Theta_\nu}{1 - \frac{\lambda_\nu^2}{\lambda^2}},$$

$$\Theta_\nu = \frac{e^2 \lambda_\nu^2}{3\pi m},$$

si l'on suppose les molécules du corps disposées dans des cavités sphériques.

L'équation précédente (10) peut encore s'écrire :

$$(11) \quad \frac{n_s^2 - 1}{(n_s^2 + 2) d_s} + \frac{0,296 \cdot 10^8 \lambda^2}{\left(\frac{P}{v}\right)^2} = \frac{1}{d_s} \sum \frac{N_\nu \Theta_\nu}{1 - \frac{\lambda_\nu^2}{\lambda^2}}.$$

Dans le premier membre de l'équation, le premier terme représente la constante optique du corps dissous multipliée par 1000. D'ailleurs, comme on ne peut compter, pour la constante optique, que sur quatre décimales exactes au plus, $k\lambda^2$ est presque toujours négligeable dans mes expériences, et la formule (11) se réduit la plupart du temps à :

$$(12) \quad K \cdot 10^3 = \frac{1}{d_s} \sum \frac{N_\nu \Theta_\nu}{1 - \frac{\lambda_\nu^2}{\lambda^2}}.$$

Si l'on ne considère que deux périodes propres dans l'ultra-violet, si λ_1 et λ_2 sont les longueurs d'onde correspondant aux bandes d'absorption, λ et λ' les longueurs d'onde des deux radiations pour lesquelles on a déterminé les constantes optiques K et K', on a, d'après (12) :

$$K \cdot 10^3 \cdot d_s = r = \frac{N_1 \Theta_1}{1 - \frac{\lambda_1^2}{\lambda^2}} + \frac{N_2 \Theta_2}{1 - \frac{\lambda_2^2}{\lambda^2}} + \dots$$

$$K' \cdot 10^3 \cdot d_s = r' = \frac{N_1 \Theta_1}{1 - \frac{\lambda_1^2}{\lambda'^2}} + \frac{N_2 \Theta_2}{1 - \frac{\lambda_2^2}{\lambda'^2}} + \dots$$

Si l'on appelle de plus :

$$d_{1,2} = \frac{r - r'}{\frac{1}{\lambda^2} - \frac{1}{\lambda'^2}},$$

(1) Le coefficient de λ^2 dans le second terme représente k ; il faut prendre pour v la somme des valences de chacun des ions intervenant dans le corps dissous.

on démontre facilement que les vibrations propres dans l'ultra-violet sont produites par un nombre p_ν d'électrons tel que :

$$\frac{e}{m} p_\nu > 3,26 \cdot 10^{-4} \frac{P}{d} \frac{rr'}{d_{1,2}},$$

ou

$$(13) \quad p_\nu > \frac{3,26 \cdot 10^{-4}}{\frac{e}{m}} P \frac{K \cdot K'}{K - K' : \frac{1}{\lambda^2} - \frac{1}{\lambda'^2}};$$

c'est-à-dire qu'on obtient la limite inférieure du nombre d'électrons qu'on suppose agir sur la dispersion du corps dissous.

XVI. J'ai fait, pour un certain nombre de solutions de corps minéraux, des déterminations de la dispersion en utilisant les raies du sodium et du thallium et les raies de l'hydrogène. J'ai calculé les constantes optiques caractéristiques de chaque corps et de chaque raie spectrale en employant successivement la loi de Gladstone ou celle de Lorentz.

Il y a lieu de signaler tout d'abord la grande variation relative de la constante optique pour quelques corps du rouge (H₇) au violet

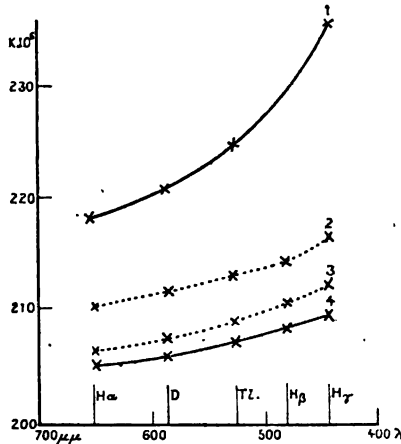


FIG. 4. — $K \cdot 10^6$ de KI à l'état dissous (courbe 1), CaCl_2 (courbe 2), NaCl (courbe 3), H_2O (courbe 4).

(H₇) : par exemple, pour l'iodure de potassium, cette variation peut être attribuée à la présence de l'iode dans la molécule (fig. 4).

D'une façon générale, pour des sels ayant ou même métal ou même radical acide, la dispersion relative paraît croître avec le poids atomique.

XVII. J'ai utilisé les constantes optiques calculées pour les divers corps à déterminer d'après la formule (13), le nombre d'électrons qui interviennent dans le phénomène de dispersion due au corps dissous.

Je donne dans le tableau suivant les résultats numériques observés à l'aide de la loi de Lorentz, en mettant également en évidence la valence ν de la molécule dissoute considérée comme la somme des valences de chacun des atomes, groupes d'atomes ou ions constituant la molécule.

Corps	$p \frac{e}{m}$	$p\nu$		ν	Limites spectrales
		$\frac{e}{m} = 1,86 \cdot 10^7$	$\frac{e}{m} = 1,50 \cdot 10^7$		
Na—Cl.....	2,439	1,3	1,6	2	F (H β) G' (H γ)
K—Cl.....	2,965	1,6	2,0	2	»
AzH ¹ —Cl.....	3,983	2,1	2,7	2	»
».....	3,925	2,1	2,6	»	C (H α) G'
K—AzO ³	3,325	1,8	2,2	2	F — G'
AzH ¹ —AzO ³	3,808	2,0	2,5	2	»
K—I.....	3,054	1,6	2,0	2	»
Ba=Cl ²	5,491	3,0	3,7	4	»
».....	6,469	3,5	4,3	»	C — G'
Ca=Cl ²	5,173	2,8	3,4	4	F — G'
Pb (AzO ³) ²	5,775	3,1	3,9	4	»
».....	6,402	3,4	4,3	»	C — G'
Li ² =SO ¹	7,095	3,8	4,7	4	»
Am ² =SO ¹	11,576	6,2	7,7	4	F — G'
».....	10,798	5,8	7,2	»	C — G'
Zn=SO ¹	7,503	4,0	5,0	4	»
K ² =CO ³	5,617	3,0	3,7	4	F — G'
».....	6,527	3,5	4,4	»	C — G'
Na ³ =PO ¹	9,250	5,0	6,2	6	F — G'
».....	8,134	4,4	5,4	»	C — G'
Sn $\equiv$ Cl ⁴	10,608	5,7	7,1	8	F — G'
K ¹ $\equiv$ FeCy ⁶	11,077	6,0	7,4	8	»
».....	11,702	6,3	7,8	»	C — G'
K ⁶ $\equiv$ Fe ² Cy ¹²	17,963	9,7	12,0	12	C — F
».....	17,108	9,2	11,4	»	D — F
Al ² $\equiv$ Cl ⁶	11,882	6,4	7,9	12	C — G'
Ca=Cl ² (eau et alcool).....	5,405	2,9	3,6	4	F — G'
».....	5,428	2,9	3,6	4	C — G'
Sn=Cl ² (<i>idem</i>).....	5,198	2,8	3,5	4	F — G'
».....	6,218	3,3	4,1	»	C — G'

XVIII. Les conclusions que l'on peut tirer de cette partie de mon étude sont les suivantes :

1° La formule $\frac{n^2 - 1}{d}$ ne donne aucun résultat intéressant ;

2° Si l'on compose les valeurs de p_v à la valence v , on voit que l'on peut dire que *la limite inférieure du nombre total d'électrons de la molécule qui agissent sur la réfraction et la dispersion est de l'ordre de grandeur de la valence de la molécule* ;

3° Il en résulte que chaque groupe d'atomes ou ion (radical acide et métal) met en jeu, dans la molécule saline, un nombre d'électrons également de l'ordre de grandeur de la valence de ce groupe d'atomes. La somme des valences des atomes ou groupes d'atomes est égale à la valence moléculaire. De même, le nombre des électrons intervenant dans les groupes d'atomes est une somme qui est égale au nombre total d'électrons intervenant dans la molécule ;

4° La formule de Lorentz donne, en général, de meilleurs résultats que celle de Gladstone ; elle mène à une formule qu'on peut trouver théoriquement et vérifier assez bien. Le fait que la loi de Gladstone donne un résultat doit être relié à ce fait que la plus grosse partie de la variation de $\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}$ vient de la variation de $n - 1$;

5° Le rapport $\frac{e}{m} = 1,86 \cdot 10^7$ donne, en général, de meilleurs résultats pour le calcul de p_v avec la loi de Gladstone qu'avec celle de Lorentz, pour laquelle la valeur de $\frac{e}{m}$ qui convient le mieux est celle tirée de la dispersion de l'hydrogène, $1,50 \cdot 10^7$;

6° Les corps en solution alcoolique donnent sensiblement les mêmes valeurs de p_v qu'en solution aqueuse ;

7° Il y a toutefois des exceptions. Par exemple, SO^1Am^2 . Mais les sels d'ammonium font toujours exception. Il n'est d'ailleurs pas impossible de supposer qu'à la température ordinaire les sels ammoniacaux en dissolution sont chimiquement dissociés, ou bien le nombre élevé s'explique par la complexité de AzH^1 . Quant aux résultats obtenus avec Al^2Cl^6 , ils peuvent s'expliquer très bien par ce fait que la dissolution de ce corps dans l'eau entraîne une perte de chlore à l'état de HCl , et que, par suite, on a une solution complexe d'oxychlorure ;

8° Le changement de concentration ou de limites spectrales dans le spectre visible influe peu sur la limite inférieure de p_v ;

9° La formule (13) paraît s'appliquer non seulement aux corps dissous, mais aux corps purs, solides ou liquides ;

10° Ces résultats ne peuvent être évidemment considérés que comme approchés, car il faudrait opérer en se servant des raies ultra-violettes et augmenter la précision des mesures⁽¹⁾. On conçoit la grande difficulté de tenter de telles expériences où l'absorption des rayons par le liquide dissolvant ou même par l'air peut prendre une importance actuellement encore mal connue⁽²⁾ ; il faudrait se guider sur des études préalables de l'absorption dans la région ultra-violette du spectre.

XIX. J'ai, depuis la publication de mon Mémoire, appliqué la formule (13) au cas de composés organiques dissous ou non dissous. Cette étude⁽³⁾ est loin d'être terminée, mais elle paraît assez bien vérifier la relation entre le nombre d'électrons agissant sur la dispersion et la valence en donnant à cette valence le même sens que précédemment, c'est-à-dire en la considérant comme la somme des valences de groupes d'atomes. Par exemple, pour des corps à fonctions simples comme les alcools ou les acides de la série grasse, on admettra comme groupes d'atomes le groupe fonctionnel OH ou CO²H et le radical R, qui aura une valence d'autant plus élevée qu'il contiendra plus de groupes CH³ (la valence intervenant est le double de la valence de liaison). Voici quelques résultats numériques pour les raies H α et H γ .

(1) D'ailleurs, la loi sur laquelle je me suis appuyé ne tient pas compte des actions mutuelles des particules.

(2) Dans les recherches de Rubens et Nichols et de Paschen, la longueur d'onde des vibrations propres ultra-violettes est de l'ordre de grandeur de $0^m,1 \cdot 10^{-5}$, longueur d'onde des rayons de Schumann, absorbables par l'air.

(3) Cette étude est actuellement faite non pas à l'aide d'expériences personnelles, mais d'après les données expérimentales fournies par de nombreux chimistes. Les nombres qui ont servi dans les calculs sont extraits des *Tables* de Dufet ou des *Tables* de Landolt. En général, ils se rapportent à une température de 20°.

Corps	Formule	$p \cdot \frac{e}{m} (k=0)$	$\frac{p}{\left(\frac{e}{m}=1,5 \cdot 10^7\right)}$	Valence
Acide :				
Acétique	$\text{CH}^3-\text{CO}^2\text{H}$	3,46	2,3	2
Propionique . .	$\text{CH}^3-\text{CH}^2-\text{CO}^2\text{H}$	4,70	3,1	4
Butyrique . . .	$\text{CH}^3-\text{CH}^2-\text{CH}^2-\text{CO}^2\text{H}$	8,97	6,0	6
Iso-valérique..	$\text{CH}^3-\text{CH}^2-\underset{\text{CH}^3}{\text{CH}}-\text{CO}^2\text{H}$	10,71	7,1	8
Alcool :				
Méthylique . . .	CH^3-OH	3,45	2,3	2
Éthylique	$\text{CH}^3-\text{CH}^2-\text{OH}$	5,38	3,6	4
Propylique . . .	$\text{CH}^3-\text{CH}^2-\text{CH}^2-\text{OH}$	8,34	5,6	6
Butylique	$\text{CH}^3-(\text{CH}^2)^3-\text{OH}$	9,32	6,2	8
Iso-amylque..	$\text{CH}^3-(\text{CH}^2)^2-\text{CH}^3-\text{CH}-\text{OH}$	11,00	7,3	10

Pour des fonctions plus complexes, il est encore impossible de dire si la présence de liaisons doubles a une influence; ce fait, s'il existe, comme l'a déjà indiqué Drude, aurait peut-être quelque importance pour décider de l'existence de certaines liaisons.

XX. Il y a, à mon avis, une conclusion intéressante à tirer de ces résultats et de ceux que j'ai obtenus pour les corps inorganiques.

On a cru tout d'abord qu'on pouvait calculer le pouvoir réfringent d'un composé organique en attribuant un module optique à chacun de ses composants; mais, le pouvoir réfringent calculé n'étant pas toujours identique au pouvoir réfringent observé, on a dû attribuer à un même atome un module variable avec le mode de liaison ou le groupement atomique lié [Bruhl ⁽¹⁾ et Conrady ⁽²⁾].

Malgré cela des écarts parfois très grands existent encore pour certains composés de la série du camphre ou de la série acétylénique, etc., ainsi que l'ont montré MM. Haller et Muller ⁽³⁾, Bauer ⁽⁴⁾, Moureu ⁽⁵⁾, etc...

On retrouve ici les mêmes singularités que celles qu'on peut observer si l'on veut calculer le pouvoir réfringent d'un composé inorganique d'après les pouvoirs réfringents des éléments donnés par Gladstone, Haagen, Kanonnikoff.

(1) BRUHL, *Z. f. ph. Ch.*, t. VII, 1891, p. 191.

(2) CONRADY, *Z. f. ph. Ch.*, t. III, 1889, p. 210.

(3) HALLER, *Deuxième Supplément du Dictionnaire de Wurtz*, II^e partie, p. 903.
— HALLER et MULLER, *C. R.*, t. CXXVIII, 1899, p. 1370; t. CXXIX, 1899, p. 1005;
t. CXXXVIII, 1904, p. 440; t. CXXXIX, 1904, p. 1180.

(4) BAUER, *Thèse*, Nancy, 1904.

(5) MOUREU, *Ann. Ch. Ph.*, 8^e série, t. VII, 1906, p. 536.

Sauf dans des cas simples, les lois d'additivité ne paraissent donc pas plus rigoureuses pour les corps organiques que pour les corps minéraux.

D'après ce que nous avons vu antérieurement, la valence de la molécule est la somme des valences des atomes ou groupes d'atomes, et ce sont ces groupements (les ions pour une molécule ionisable) qui paraissent ajouter leurs actions optiques pour donner l'influence de la molécule sur la propagation de la lumière, ainsi que le montrent les lois approchées d'additivité.

On peut donc penser que, si l'atome n'agit plus toujours individuellement dans le phénomène de la réfraction et de la dispersion de la lumière, on expliquera ainsi que le pouvoir réfringent moléculaire ou la dispersion moléculaire *calculés à partir des éléments* ne sont pas toujours égaux à la réfraction ou à la dispersion moléculaires observées.

Mais on peut dire aussi que, si l'on tient compte des actions mutuelles qui ne peuvent pas être négligées dans des molécules complexes, non seulement entre atomes, mais entre particules constitutives de l'atome, les modules optiques sont, pour chaque groupement, variables à l'infini suivant la nature des éléments liés et le mode de liaison.

Les lois d'addition n'ont donc plus de sens simple, si l'on s'adresse à des corps trop complexes.

NOTE.

**Sur l'avantage que paraît présenter la loi de Lorentz
au point de vue de la dispersion.**

On compare, comme on l'a vu précédemment, la formule de Gladstone (II) et la formule de Lorentz (III) :

1° Au point de vue de la réfraction par la variation relative

$$\frac{(n_{s_2} - 1) - (n_{s_1} - 1)}{n_{s_2} - 1},$$

n_{s_1} étant l'indice du corps dissous calculé d'après la constante optique du corps dissous, n_{s_2} étant l'indice du corps dissous calculé d'après la constante du corps non dissous (Voir p. 188, note 1).

Corps et titre de la solution	n.				Variation de la réfraction O/O	Pouvoir dispersif O/O	Variation de la dispersion O/O	Expérimentateurs
	C.	D.	F.	H _γ				
AzHCl Sol. aq. <i>p</i> = 20,31 0/0	II { 1,0889	1,0907	1,0923		0,3	0,0334	41,4	Solution : Chéneveau (<i>Ann. Ch. Ph.</i> , t. XII, 8 ^e série, p. 218). Solide : <i>n</i> Grailich (<i>Tables de Landolt</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland (<i>Z. f. ph. Ch.</i> , t. XIX, p. 264; 1896). Solution : Schütt (<i>Z. f. ph. Ch.</i> , t. V, p. 349; 1890). Solide : <i>n</i> Rubens (<i>Wied. Ann.</i> , t. LIV, p. 476; 1895) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland (<i>loc. cit.</i>). Solution : Chéneveau (<i>ibid.</i> , p. 215).
	{ 1,0890	1,0904	1,0920			0,375		
	{ 1,0764	1,0773	1,0784		4,9	0,0258	4,6	
NaCl Sol. aq. <i>p</i> = 25 0/0	III { 1,0307	1,0813	1,0827			0,246		Solide : <i>n</i> Topsee et Christiansen (<i>Tables de Landolt</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland. Solution et liquide : Schütt (<i>Z. f. ph. Ch.</i> , t. IX, p. 351; 1892). Solution et liquide : Johst (<i>Wied. Ann.</i> , t. XX, p. 56; 1883). Solution et liquide : Haller et Muller (<i>C. R.</i> , t. CXXVIII, p. 1370; 1899). Solution et liquide : Moureu (<i>Ann. Ch. Ph.</i> , t. VII, 8 ^e série, p. 536; 1906).
	II { 1,0798	1,0804		1,0833	7,3	0,0435	43,8	
	{ 1,0741	1,0745		1,0769		0,375		
KCl Sol. aq. <i>p</i> = 23,57 0/0	III { 1,0705	1,0710		1,0728	7,6	0,0324	4,3	Solide : <i>n</i> Rubens (<i>loc. cit.</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland (<i>loc. cit.</i>). Solution : Bender (<i>Wied. Ann.</i> , t. XXXIX, p. 89; 1890). Solide : <i>n</i> Topsee et Christiansen (<i>Tables de Landolt</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland. Solution et liquide : Schütt (<i>Z. f. ph. Ch.</i> , t. IX, p. 351; 1892). Solution et liquide : Johst (<i>Wied. Ann.</i> , t. XX, p. 56; 1883). Solution et liquide : Haller et Muller (<i>C. R.</i> , t. CXXVIII, p. 1370; 1899). Solution et liquide : Moureu (<i>Ann. Ch. Ph.</i> , t. VII, 8 ^e série, p. 536; 1906).
	II { 1,0696	1,0701		1,0724	3,8	0,0399	10,8	
	{ 1,0670	1,0674		1,0694		0,356		
KBr Sol. aq. <i>p</i> = 28,69 0/0	III { 1,0624	1,0626		1,0643	3,6	0,0351	5,7	Solide : <i>n</i> Rubens (<i>loc. cit.</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland (<i>loc. cit.</i>). Solution : Bender (<i>Wied. Ann.</i> , t. XXXIX, p. 89; 1890). Solide : <i>n</i> Topsee et Christiansen (<i>Tables de Landolt</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland. Solution et liquide : Schütt (<i>Z. f. ph. Ch.</i> , t. IX, p. 351; 1892). Solution et liquide : Johst (<i>Wied. Ann.</i> , t. XX, p. 56; 1883). Solution et liquide : Haller et Muller (<i>C. R.</i> , t. CXXVIII, p. 1370; 1899). Solution et liquide : Moureu (<i>Ann. Ch. Ph.</i> , t. VII, 8 ^e série, p. 536; 1906).
	II { 1,0599	1,0603		1,0619	4,2	0,0358	15,9	
	{ 1,0715	1,0761	1,0780			0,301		
C ² H ⁴ Br ² Sol. dans l'alcool propylique normal <i>p</i> = 49,95 0/0	III { 1,0674	1,0677	1,0694		3,4	0,0295	11,8	Solide : <i>n</i> Rubens (<i>loc. cit.</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland (<i>loc. cit.</i>). Solution : Bender (<i>Wied. Ann.</i> , t. XXXIX, p. 89; 1890). Solide : <i>n</i> Topsee et Christiansen (<i>Tables de Landolt</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland. Solution et liquide : Schütt (<i>Z. f. ph. Ch.</i> , t. IX, p. 351; 1892). Solution et liquide : Johst (<i>Wied. Ann.</i> , t. XX, p. 56; 1883). Solution et liquide : Haller et Muller (<i>C. R.</i> , t. CXXVIII, p. 1370; 1899). Solution et liquide : Moureu (<i>Ann. Ch. Ph.</i> , t. VII, 8 ^e série, p. 536; 1906).
	II { 1,0645	1,0654	1,0662		1,0	0,260	6,7	
	{ 1,1428	1,1438	1,1464			0,268		
C ⁶ H ⁵ —AzH ³ Sol. dans l'alcool éthylique <i>p</i> = 55,87 0/0	III { 1,1442	1,1453	1,1481		0,08	0,0231	0,4	Solide : <i>n</i> Rubens (<i>loc. cit.</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland (<i>loc. cit.</i>). Solution : Bender (<i>Wied. Ann.</i> , t. XXXIX, p. 89; 1890). Solide : <i>n</i> Topsee et Christiansen (<i>Tables de Landolt</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland. Solution et liquide : Schütt (<i>Z. f. ph. Ch.</i> , t. IX, p. 351; 1892). Solution et liquide : Johst (<i>Wied. Ann.</i> , t. XX, p. 56; 1883). Solution et liquide : Haller et Muller (<i>C. R.</i> , t. CXXVIII, p. 1370; 1899). Solution et liquide : Moureu (<i>Ann. Ch. Ph.</i> , t. VII, 8 ^e série, p. 536; 1906).
	II { 1,1290	1,1300	1,1320			0,230		
	{ 1,2921	1,2934	1,3041		0,2	0,0406	4,0	
<i>n</i> C ³ H ⁷ —CO—CH(CN)CO—OCH ³ Sol. dans le toluène <i>p</i> = 9,47 0/0	III { 1,2925	1,2959	1,3050		4,2	0,0366	1,3	Solide : <i>n</i> Rubens (<i>loc. cit.</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland (<i>loc. cit.</i>). Solution : Bender (<i>Wied. Ann.</i> , t. XXXIX, p. 89; 1890). Solide : <i>n</i> Topsee et Christiansen (<i>Tables de Landolt</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland. Solution et liquide : Schütt (<i>Z. f. ph. Ch.</i> , t. IX, p. 351; 1892). Solution et liquide : Johst (<i>Wied. Ann.</i> , t. XX, p. 56; 1883). Solution et liquide : Haller et Muller (<i>C. R.</i> , t. CXXVIII, p. 1370; 1899). Solution et liquide : Moureu (<i>Ann. Ch. Ph.</i> , t. VII, 8 ^e série, p. 536; 1906).
	II { 1,2699	1,2737	1,2739			0,423		
	{ 1,2667	1,2685	1,2767		3,3	0,0371	3,5	
C ⁶ H ⁵ —C≡CH Sol. dans l'acétone <i>p</i> = 29,67 0/0	III { 1,0349	1,0352	1,0360		0,9	0,0313	1,0	Solide : <i>n</i> Rubens (<i>loc. cit.</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland (<i>loc. cit.</i>). Solution : Bender (<i>Wied. Ann.</i> , t. XXXIX, p. 89; 1890). Solide : <i>n</i> Topsee et Christiansen (<i>Tables de Landolt</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland. Solution et liquide : Schütt (<i>Z. f. ph. Ch.</i> , t. IX, p. 351; 1892). Solution et liquide : Johst (<i>Wied. Ann.</i> , t. XX, p. 56; 1883). Solution et liquide : Haller et Muller (<i>C. R.</i> , t. CXXVIII, p. 1370; 1899). Solution et liquide : Moureu (<i>Ann. Ch. Ph.</i> , t. VII, 8 ^e série, p. 536; 1906).
	II { 1,0320	1,0323	1,0329			0,302		
	{ 1,0323	1,0326	1,0332		0,9	0,0279	1,0	
C ⁶ H ⁵ —C≡CH Sol. dans l'acétone <i>p</i> = 29,67 0/0	III { 1,1447	1,1461	1,1537		0,9	0,0614	34,8	Solide : <i>n</i> Rubens (<i>loc. cit.</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland (<i>loc. cit.</i>). Solution : Bender (<i>Wied. Ann.</i> , t. XXXIX, p. 89; 1890). Solide : <i>n</i> Topsee et Christiansen (<i>Tables de Landolt</i>) ; <i>d</i> Le Blanc et Rohland. Solution et liquide : Schütt (<i>Z. f. ph. Ch.</i> , t. IX, p. 351; 1892). Solution et liquide : Johst (<i>Wied. Ann.</i> , t. XX, p. 56; 1883). Solution et liquide : Haller et Muller (<i>C. R.</i> , t. CXXVIII, p. 1370; 1899). Solution et liquide : Moureu (<i>Ann. Ch. Ph.</i> , t. VII, 8 ^e série, p. 536; 1906).
	II { 1,1462	1,1476	1,1521			0,400		
	{ 1,1315	1,1338	1,1372		2,5	0,0426	45,8	

2° Au point de vue de la dispersion par la variation relative du pouvoir dispersif $\delta = \frac{(n_s)_A - (n_s)_B}{(n_s)_B - 1}$ calculé en partant du corps dissous, puis du corps non dissous. A et B sont en général les raies F et C du spectre de l'hydrogène; D, la raie du sodium.

Dans le cas de NaCl et de KCl, à cause des trop faibles différences entre C et F, on a pris C et H γ de manière à diminuer l'erreur.

On rappelle ici que l'ordre de grandeur des erreurs est tel que les écarts observés pour les variations de la dispersion sont plus grands que ces erreurs pour la loi de Gladstone et plus petits ou au plus égaux pour la loi de Lorentz.

La variation de la dispersion apparaît, dans tous les cas donnés, comme nettement plus faible avec la loi de Lorentz (1).

OBSERVATIONS SUR LE TEMPS EMPLOYÉ PAR LES CORPS POUR SE DISSOUDRE;

Par M. GASTON GAILLARD (2).

Les observations que nous avons faites sur le temps que la précipitation met à apparaître dans les solutions d'hyposulfite (3) nous ont amené à nous demander s'il ne serait pas intéressant d'étudier au même point de vue la dissolution des corps.

Ces expériences présentent des difficultés assez sérieuses et de même ordre que les précédentes. Cependant, et bien que l'on trouve des écarts considérables dans les observations, par suite de la variation même des conditions et de l'approximation forcée des mesures de ce genre, nous avons cru que certains résultats valaient la peine d'être notés. Du reste nous n'avons entrepris cette étude et nous ne donnons les résultats suivants relatifs à cette nouvelle

(1) Erratum à la publication des *Annales de Chimie et Physique* (t. XII, p. 218 et 289, 8^e série; 1907). — Page 292, note 1, lire : MM. Veley et Manley ont établi que, pour les solutions d'acide sulfurique, le facteur de Lorentz R variait avec le pourcentage en poids p suivant une loi linéaire de la forme $R = R_0 + a \cdot p$. La constante optique est, au contraire, proportionnelle au pourcentage, ainsi que le montrent les exemples suivants... — Page 182, Drude, *Lehrbuch der Optik*, 2^e édit., p. 371 à 381; 1906. — Page 183, C. Forch (*Drude Ann.*, t. VIII, p. 675; 1902).

(2) Séance du 3 juillet 1908.

(3) *Comptes rendus*, t. CXL; 1905; p. 652.

considération du temps, non pour en fixer pour le moment la valeur exacte, mais pour en montrer l'importance et l'intérêt.

On sait, en effet, que la dissolution dépend de nombreux facteurs, qui rendent par suite fort difficile toute observation de ce genre : solubilité propre, température, actions mécaniques qu'ont pu subir les cristaux, dimension des particules solides qui sont en équilibre avec la solution saturée, comme l'avait théoriquement prévu M. Gibbs⁽¹⁾, M. Ostwald, etc., a aussi montré, dans une discussion sur la non-identité des deux modifications rouge et jaune de l'oxyde de mercure, qu'il s'agissait d'une différence dans la solubilité due au degré de division de l'oxyde employé. D'après cet auteur, c'est pour la même raison que certains sels (tels que le chlorure mercurique, chlorure de plomb, azotate de baryte, oxalate de chaux) peuvent offrir des différences de solubilité allant jusqu'à 30/0, suivant l'état de leur pulvérisation. M. G.-A. Hullet⁽²⁾ a de même montré pour des solutions de gypse que la solubilité varie avec le diamètre moyen des particules solides.

Nous insistons d'autant plus particulièrement sur ces observations que M. Ch. Marie⁽³⁾, précisément au sujet de ces travaux, faisait remarquer « que ces curieux résultats montrent que dans la détermination de la solubilité intervient un facteur nouveau, qui est le temps nécessaire pour, partant d'une solution quelconque, arriver à cette solution normalement saturée, qui seule permet de définir la solubilité d'un corps en tant que constante physique. Ce temps pouvant être relativement considérable, il y a lieu de reviser, surtout pour les corps peu solubles, les solubilités déterminées jusqu'ici ».

D'autre part M. Boyer-Guillon⁽⁴⁾ a fait voir, lorsqu'on porte une solution saturée de sulfate de chaux à une température supérieure à celle qui correspond à son degré de saturation, qu'une partie de sel se précipite, mais que la précipitation se continue à température constante : le sel se dépose progressivement, et ce n'est qu'au bout d'un temps plus ou moins long que le titre de la solution acquiert une valeur stable. MM. J. Schürr⁽⁵⁾, Brunner et St. Tolloczko⁽⁶⁾ ont

(1) *Zeitsch. f. phys. Chem.*, t. XXXIV, p. 495; 1900.

(2) *Zeitsch. f. phys. Chem.*, t. XXXVII, p. 385; 18 juin 1900.

(3) *Revue des Sciences appliquées*, 15 août 1901.

(4) *Étude sur la solubilité du sulfate de chaux*. (*Ann. du Conservatoire*, t. II, p. 186; 1900.)

(5) *Journal de Chimie physique*, t. II p. 244; 1901.

(6) *Ib.*, t. III, p. 625; 1905.

étudié le mode d'attaque des cristaux et la vitesse de dissolution des sels ou des corps solides dans leurs dissolutions aqueuses. On voit par là la complexité de ces phénomènes, la difficulté de leur analyse et l'importance que prend la considération de la valeur propre du temps dans la mesure de l'action chimique.

De plus cette nouvelle étude semble être beaucoup moins simple que toutes celles faites précédemment, pour cette raison encore que la thermodynamique ne semble être là d'aucun secours immédiat, du moins telle qu'elle a été formulée jusqu'ici, et ne pouvoir fournir aucune solution directe des problèmes dans lesquels entre le temps.

Sans doute, dans les observations que nous avons faites soit sur l'apparition de la précipitation, soit sur le temps que mettent les corps à se dissoudre et de la manière dont il est possible de les effectuer, les phénomènes n'ont pu être suivis entièrement, et il est certain que ceux que nous avons observés doivent être précédés d'actions préliminaires ou donner naissance à des transformations consécutives, mais ces observations succinctes permettent du moins de poser le problème de la façon dont nous le voyons, quitte à étudier ensuite les phases intermédiaires de ces transformations par rapport au temps.

Nous n'envisagerons du reste pas ici la nature intime de la dissolution, et nous n'essaierons point de la différencier de la combinaison ou de l'y assimiler. Du reste la dissolution ne saurait sans doute être entièrement séparée des phénomènes chimiques, car souvent le phénomène de la dissolution est précédé d'une combinaison que le corps solide contracte avec le solvant, comme dans les hydrates d'oxydes, les combinaisons d'eau de certains sels, en sorte que ce n'est plus à proprement parler le corps employé qui se dissout, mais la combinaison formée primitivement avec le dissolvant. Dans ces expériences, nous avons envisagé le temps d'une façon toute directe, comme pour la précipitation, et nous nous sommes proposé de voir quels temps divers sels, pris sous leur forme habituelle, emploient pour se dissoudre dans les mêmes conditions. D'une façon générale, nous avons jeté des poids donnés de divers sels dans des quantités déterminées de dissolvant à une température connue. La diffusion était rendue la plus active possible et maintenue constante par un agitateur mû par une turbine réglée à une certaine vitesse, et l'on a compté les temps jusqu'à la disparition entière du sel.

Mais ces expériences, même pour les cas les plus simples, se trouvent tout de suite limitées à des corps dont la dissolution s'opère

sans une grande absorption ou un fort dégagement de chaleur, car, ainsi qu'il est facile de s'en rendre compte, pour des quantités suffisantes et demandant par suite un temps appréciable, la modification totale de la température par la réaction elle-même influe sur sa propre marche et introduit dans le phénomène une complexité dont il serait difficile de tenir de suite exactement compte. En outre, il ne faut pas oublier que ces expériences ne peuvent valoir comparativement que par séries, pour des sels dont les cristaux sont de grosseur égale et pour une égale diffusion mécanique, car, pour un même sel, les écarts observés peuvent atteindre une valeur considérable selon la grosseur des cristaux, et la vitesse de l'agitation.

I. Le temps employé augmente de la façon suivante avec la quantité de sel mise à dissoudre, le rapport de la durée à la concentration obtenue dans les limites de nos expériences étant sensiblement constant pour s'élever ensuite.

Poids pour 2 000-3	S ² O ³ Na ²						SO ⁴ Na ²				SO ⁴ Fe, t = 16			Sucre cristallisé t = 15								
	sous forme de semoule		gros cristaux				petits cristaux t = 13,5		gros cristaux t = 17													
	m	s	m	s	m	s	m	s	m	m	m	m	s	m	s							
50	1	50	à	2						7	à	8			2	30	à	2	45			
100	2	15	à	2	25	4	15		3	30	à	4	9	11	à	11	30	2	45	à	3	
200	2	35	à	2	45	5	40	à	6	7	30	à	8	12	13			3	15	à	3	30
300	3	20	à	3	30	7	30	à	8	14		à	16		14	30		4				
400	3	40	à	3	50	9	15							17	à	18		4	30	à	4	45
500	4	10																5	15	à	5	30
600					12	30																
700																						
800					18																	
900																						
1 000					22		à	22	30													

II. a) Si l'on ajoute successivement une même quantité d'un corps à dissoudre aussitôt que la quantité précédemment introduite a disparu, ou à des quantités de plus en plus grandes de sel une fois dissous, on voit que, pour des concentrations croissantes, un même poids met successivement les temps suivants à se dissoudre, mais il est difficile de comparer ces temps aux différences entre la concentration finale et la concentration correspondant à la saturation, par suite de la difficulté de l'expérience quand on approche de la saturation.

Poids	NaCl <i>t</i> = 18°		Sucre <i>t</i> = 20°		Sucre			
					Poids	<i>t</i> = 12°		On a ajouté 100 gr.
gr.	m s	m s	m s	m s	gr.	m s	m s	m s m
100	1 30	à 1 45	2 40	à 2 50	100	3 30	à 3 45	3 45
100	2		3		200	4 30		3 45 à 4
100	2 10		3 10	à 3 15	300	5 45	à 6	4
100	3	à 3 30	3 35		400	9	à 9 15	4 30
100	5	à 5 15	3 50	à 4	500	12		6 30
100	7 30	à 8	4 45					
100			5 15	à 5 25				
100			6 30					
100			7 40					

b) Si à une quantité déterminée mise à dissoudre on ajoute successivement, au bout de temps connus et avant que cette première quantité ait disparu, une même quantité du même corps, la dissolution se fait comme l'indiquent les observations suivantes :

Sucre cristallisé <i>t</i> = 17°					
Poids dissous gr.	On a mis 100 grammes à dissoudre				Temps employé quand on met en une fois la somme des poids m s m
	près 1 minute m s	après 2 minutes m s s	après 3 minutes m s s		
200	4 30				3 45 à 4
200		5 35 à 45			4 45 à 7
200			6 30 à 45		5 20 à 5 45

III. Sans rapporter toutes les expériences que nous avons faites avec divers sels et pour lesquels il est difficile de donner des résultats comparatifs, à cause des modes différents de cristallisation qu'ils revêtent, il est intéressant de remarquer, que, malgré cette dissémination de forme, pour certains d'entre eux, il se manifeste des relations avec la nature de leur acide ou le poids de leur métal. Si l'on pulvérise les cristaux, la dissolution se fait d'une façon beaucoup plus rapide; mais il subsiste entre les sels des différences comparables en partie à celles que l'on observe en opérant sur les cristaux mêmes. Toutefois le plus souvent de semblables relations n'apparaissent pas ou semblent masquées par d'autres facteurs et plus spécialement par la dureté des cristaux.

			Solubilité à 20°	<i>t</i> = 15°
100 gr./2000 cm ³	azotate	d'ammonium....		1 ^m , 20
—	—	de sodium.....	88	2 ^m 20 ^s à 2 ^m 50 ^s
—	—	de potassium....	31	6 ^m 25 ^s
—	—	de calcium.....	94	3 ^m 50 ^s
—	—	de strontium....	71	5 ^m 45 ^s à 7 ^m
50 gr./2000 cm ³	—	de baryum.....	9,2	16 ^m à 17 ^m
100 gr./2000 cm ³	—	de plomb.....	56	5 ^m 30 ^s à 6 ^m 30 ^s

	Cristallisé $t^{\circ} = 16$	Pulvérisé $t^{\circ} = 18$
200 gr./2000 cm ³ hyposulfite d'ammoniaque	40 ^s	15 ^s à 20 ^s
— — de soude (semoule):	2 ^m	45 ^s à 1 ^m
— — de potasse.....	2 ^m 50 ^s à 3 ^m	40 ^s à 50 ^s
— — de strontium.....	5 ^m à 7 ^m	2 ^m
	$t^{\circ} = 21$	$t^{\circ} = 19$
200 gr./2000 cm ³ hyposulfite de soude gros cristaux.....	3 ^m à 3 ^m 35 ^s	45 ^s à 1 ^m
200 gr./2000 cm ³ sulfite de soude gros cristaux..	15 ^m à 16 ^m	6 ^m à 7 ^m
— sulfate — — ..	18 ^m à 20 ^m	6 ^m à 6 ^m 30 ^s

IV. La valeur de la solubilité semble nécessairement intervenir dans la valeur du temps employé par la dissolution, comme il est facile de s'en rendre compte dans quelques-unes de ces expériences, et, pour certains cas, en faisant varier la température, on voit que la courbe des inverses des temps a une allure comparable à celle de la solubilité ; mais il est à remarquer que des sels ayant des coefficients de solubilité voisins peuvent employer des temps notablement différents à se dissoudre et qu'il n'est pas possible, d'après la valeur de la solubilité, de tirer directement celle du temps employé par la dissolution.

	200 gr./1000 cm ³		100 gr./2000 cm ³	
	S ² O ₃ Na ²	NaCl	Sucre	
	Temps 2 ^m 45 ^s	Solubilité	Temps 2 ^m 45 ^s	Solubilité
15 ^o				66,1
20	»	36		67
30	»	36,3		69,8
40	1 ^m 40 ^s	36,6	1 ^m 45 ^s à 2 ^m	75,8
50		37	1 ^m 40 ^s	82,7
60	34 ^s à 45 ^s	37,2	1 ^m 25 ^s	
70		37,9	1 ^m 15 ^s	
80	15 ^s à 18 ^s	38,2	1 ^m	

Chromate de potassium 200 gr./2000 cm³

	Jaune		Rouge	
Température	Solubilité		Solubilité	
20	63	3 ^m à 3 ^m 15 ^s	12,4	2 ^h 30 ^m à 3 ^h
40	67	1 ^m 45 ^s à 2 ^m	26	20 ^m
60	71	1 ^m 30 ^s	45	4 ^m à 4 ^m 20 ^s
80	75	50 ^s à 1 ^m	69	1 ^m 30 ^s à 2 ^m

La variation du temps avec la température ne suit pas toujours celle de la solubilité, comme cela est à remarquer plus spécialement avec le sulfate de soude ou celui de chaux.

Sulfate de soude

Poids pour 2000 cm ³	Température				
	15°	30°	50°	60°	70°
100	8 ^m à 10 ^m	1 ^m 15 ^s à 30 ^s	30 ^s	25 ^s	10 ^s
200	10 ^m à 12 ^m	1 ^m 30 ^s à 45 ^s	50 ^s à 1 ^m 10 ^s	25 ^s à 30 ^s	12 ^s à 15 ^s
300					30 ^s
400					40 ^s à 45 ^s
500					45 ^s à 1 ^m

Sulfate de calcium

Température	Solubilité 0/0	2 gr./2000
20	0,206	25 ^m environ
40	0,214	12 ^m —
60	0,208	5 ^m
80	0,195	3 ^m 30 à 4 ^m

V. Pour quelques mélanges de sels sur lesquels nous avons opéré (sulfate et chromate de potassium, azotates de potassium et d'ammonium, chlorure de sodium et azotate de potassium), le temps paraît varier dans le sens de la modification de la solubilité, mais les variations sont peu sensibles.

VI. On ne peut pas rigoureusement comparer les temps employés par un sel anhydre et un sel cristallisé parce que, d'une part, le sel pulvérisé est, dans beaucoup de cas, difficilement réduit en poudre et se présente en somme sous forme de cristaux plus petits ou brisés et que, d'autre part, le sel anhydre s'agglomère au moment de la dissolution.

	°	Anhydre		Cristallisé		Pulvérisé
		Solubilité à 20°	Temps	Solubilité à 20°	Temps	
200 gr./2000 cm ³ :						
Carbonate de soude..	19°	26	2 ^m 30 ^s à 3 ^m	93	8 ^m	2 ^m 15 ^s
Hyposulfite de soude.	18	69	1 ^m 15 ^s		2 ^m 45 à 3 ^m	50 ^s à 1 ^m
Sulfate de zinc.....	25	53	1 ^m 30 ^s	161	50 ^s à 1 ^m	
Sulfate de cuivre....	20	23	4 ^m à 5 ^m	42,3	15 ^m à 20 ^m	4 ^m

Ces expériences nous montrent donc, ainsi que nous l'avons vu pour la précipitation, qu'il est également intéressant pour la dissolution de tenir compte de la valeur propre du temps employé, de chercher à déterminer cette valeur d'une façon précise et de la dégager de l'action des autres facteurs qui interviennent et qui la masquent.

En résumé, on voit que si le temps considéré est, pour certains sels et dans certaines conditions, en relation avec la solubilité, il ne correspond pas directement et d'une façon exacte à la valeur respective de ces différentes solubilités, et que cette solubilité ne per-

met pas d'obtenir à elle seule le temps que le corps met à se dissoudre; que, si le temps de dissolution dépend des propriétés du sel, il semble aussi en relation avec les caractères du métal ou de l'acide; qu'avec l'élévation de la température la variation du temps peut ne pas se faire suivant la même loi que celle de la solubilité; enfin qu'il y a lieu de tenir compte des quantités mises en présence et de la manière dont elles sont introduites. Mais pour ces expériences, de même que pour celles sur la précipitation, il est difficile d'inférer rigoureusement, d'après ce qui se passe dans toute la masse, de l'économie interne du phénomène. Du reste, lorsqu'on met en présence un poids de sel dans un dissolvant, il s'écoule un moment plus ou moins long durant lequel il semble ne se rien produire ou seulement se dissoudre une quantité très petite du corps, puis cette quantité va en augmentant assez rapidement; la plus grande partie du sel disparaît alors, semble même quelquefois le faire d'un seul coup, et il ne reste que quelques cristaux qui se dissolvent de plus en plus lentement et sont parfois très longs à disparaître. C'est pourquoi, ainsi que nous avons dit que nous nous le proposons, il y aurait lieu, au bout de temps successifs de plus en plus grands et en recommençant chaque fois l'expérience tout entière, de déterminer la quantité de sel dissous à chaque instant ou, à l'aide d'une méthode indirecte, d'étudier la variation de la saturation.

Mais là encore il ne faut pas oublier que nous n'observons en somme que des phénomènes qui se présentent comme des totaux, des sommes plus ou moins complexes d'actions et de réactions, et nous ne pouvons en inférer qu'ils se produisent de la même manière, dans les dernières particules des corps ou du moins dans celles en lesquelles nous les réduisons, et déterminer ainsi rigoureusement ce qui a lieu en dehors des conditions de masse, de grandeur, où ils se présentent pour nous. Du reste, comme l'avait déjà reconnu Thénard ⁽¹⁾, « il faut avouer que la nécessité de tenir compte de toutes les forces autres que l'affinité et qui peuvent accélérer ou retarder l'action des corps, rend presque toujours la solution du problème très délicate et même assez souvent impossible ». Néanmoins il reste curieux de voir si cette valeur du temps ne serait point précisément fondamentale pour chaque corps. Dans ce cas, il ne s'agit plus de considérer la vitesse de réaction, c'est-à-dire le

(1) THÉNARD, *Traité de chimie élémentaire*, t. I, p. 14.

rapport de la masse transformée au temps, rapport dû aux valeurs combinées des différentes énergies des éléments en réaction et des nombreux facteurs qui interviennent, mais d'examiner l'accélération respective de chaque corps et dont doit dépendre ce rapport. Il semble que l'on pourrait ainsi dégager pour chaque élément la notion d'une sorte de *chimiochronicité*, et que l'étude de la valeur propre du temps employé par chaque élément dans ses combinaisons permettrait sans doute de se rendre plus exactement compte des forces qui entrent en jeu dans toute action chimique et d'en mieux déterminer l'économie. Ainsi que le disait si justement Sainte-Claire Deville : « Comme on ne peut communiquer à un corps qu'une vitesse finie, de même la combinaison exigera toujours, pour se produire, un temps plus ou moins long, mais toujours fini. »

Du reste, cette considération du temps dans les phénomènes est aujourd'hui envisagée à beaucoup de points de vue et a attiré l'attention de beaucoup d'expérimentateurs, et plus récemment, c'est ainsi que la variation de ce qu'on a appelé la *constante de temps*, c'est-à-dire la rapidité avec laquelle varie la radioactivité, a pu être employée pour se rendre compte si l'on avait à faire à des corps différents. Les mêmes phénomènes radioactifs et d'activation ont en outre, par des considérations de vitesse, conduit à discuter la constance de la masse dans la conception électro-magnétique de la matière, et, à un autre point de vue, celui-là même de la constitution et de la stabilité des éléments, ont amené encore à envisager le temps.

PHÉNOMÈNES PSEUDO-PHOTOGRAPHIQUES ⁽¹⁾;

Par M. P. VILLARD.

En 1860, de La Blanchère écrivait :

« Par l'addition d'un peu de solution argentifère au liquide pyrogallique, une image négative faible vire instantanément au positif et se développe ensuite normalement dans cet état. » Le même auteur ajoute que, conformément à une observation faite par Schouwaloff (*Art du Photographie*), on remarque, entre la partie positive et la

(1) Séance du 5 janvier 1906.

partie négative de l'image, une auréole blanche plus claire que les deux.

Le Dr A. Guébard a obtenu le même résultat en traitant par un révélateur étendu une plaque au gélatino-bromure d'argent, faiblement exposée pour avoir, comme plus haut, un négatif faible, et laissant séjourner la plaque dans le bain pendant un temps considérable; le bromure d'argent non attaqué pouvait ainsi se dissoudre en quantité notable dans le sulfite de soude du révélateur, ce qui revenait au même que d'ajouter au réducteur une solution argentifère.

Dans ce genre d'expériences il se produit, outre l'auréole claire signalée par Schouwaloff, ce que les photographes appellent une *inversion*. Cette expression, universellement adoptée, a le défaut de donner une idée fausse des phénomènes. On fait involontairement la comparaison avec ce qui se passe parfois dans une machine de Holtz, et on est tenté de se représenter une image comme un objet indivisible, dont toutes les parties sont liées, et qui passe du négatif au positif, ou inversement, par une sorte de mouvement de bascule, les blancs devenant des noirs et réciproquement.

Ce qui se passe est moins mystérieux : une image photographique est un ensemble de particules métalliques dont l'objectif a réglé la répartition, et chacune d'elles ne peut agir autour d'elle que dans un rayon comparable à ses dimensions; ce qui se passe à une extrémité d'une plaque 13×18 n'a aucune influence sur ce qui peut se produire à l'autre extrémité.

Quand une inversion se produit au cours d'un développement, c'est que, pour une raison ou une autre, les blancs du négatif obtenu d'abord se remplissent d'un dépôt dont l'opacité arrive à dépasser celle des teintes les plus fortes du négatif, ces dernières continuant d'ailleurs à noircir de plus en plus. Dans aucun cas l'inversion ne comporte l'éclaircissement des noirs du négatif, moins encore le transfert des particules d'argent d'une région à une autre par redissolution suivie d'une nouvelle précipitation. Un bain réducteur ne saurait redissoudre l'argent qu'il vient de réduire. Il peut seulement arriver qu'à la longue le sulfite de soude du révélateur dissolve le bromure d'argent non réduit : ce fixage éclaircit nécessairement l'épreuve et il en résulte une erreur d'interprétation qu'on doit éviter en ne comparant les épreuves qu'après fixage de celles qui contiennent encore du bromure d'argent. Une action extrêmement prolongée, au cours de laquelle l'oxydation complète du réducteur ne

laisse subsister que le pouvoir dissolvant du sulfite de soude, peut, il est vrai, affaiblir légèrement l'image; mais cet affaiblissement ne porte pas uniquement sur la partie négative de l'épreuve. On vérifie par exemple aisément qu'un séjour prolongé dans l'hyposulfite de soude éclaircit sensiblement un cliché. L'effet est d'autant plus marqué qu'il s'agit de préparations à grain plus fin : il est très appréciable au bout de cinq à six heures avec les papiers au gélatino-bromure d'argent, et le ton de l'épreuve vire au violacé (ton chaud par diminution du diamètre des particules d'argent).

Dans le cas de la solarisation, c'est la lumière qui détermine l'inversion. La vitesse de développement (poids d'argent réduit par unités de surface et de temps) est d'autant plus grande, mais d'autant plus vite décroissante, que l'exposition a été plus forte. Les régions surexposées noircissent les premières, mais sont ensuite rattrapées et dépassées par les autres, l'ensemble s'assombrissant d'ailleurs de plus en plus.

Il en est tout autrement dans les expériences citées au début de cet article.

On constate d'abord, et tous les auteurs sont d'accord sur ce point, que ce sont les clichés très sous-exposés qui s'inversent le plus facilement par l'addition d'une liqueur argentifère au révélateur, ou par l'immersion prolongée dans un bain capable de dissoudre du bromure d'argent. Quand se forme l'image positive qui va imposer son signe à l'épreuve, c'est par les plages les moins exposées qu'elle débute, et de préférence par celles qui n'ont reçu aucune lumière (régions protégées par le châssis).

Si l'expérience est faite en traitant par un révélateur dilué ⁽¹⁾ un cliché au gélatino-bromure d'argent, on observe que l'inversion continue à se produire longtemps après que tout le bromure d'argent a été dissous, et que sa disparition a entraîné celle de l'impression lumineuse localisée par l'objectif. La formation de l'image positive ne peut donc être attribuée qu'à la présence du bain d'argenteure formé par le bromure d'argent dissous dans le révélateur. Cette manière de voir est confirmée par les remarques suivantes : l'inversion est notablement accélérée par l'addition, dans le même bain, de plusieurs plaques, impressionnées ou non ; par la présence d'une

(1) Par exemple, une solution de métoquinone dans le sulfite de soude (1 gramme de métoquinone et 10 grammes de sulfite par litre). Ce révélateur, exempt d'alcali libre, ne tend pas à décoller la gélatine.

trace d'hyposulfite de soude; par l'augmentation de la teneur en sulfite. Elle devient très rapide si on verse dans la cuve quelques gouttes d'une solution toute préparée de chlorure ou bromure d'argent dans le sulfite de soude.

On observe, d'autre part, que la transformation de l'épreuve s'accompagne de phénomènes accessoires qui suivent une marche exactement parallèle : les parois de la cuve se recouvrent d'un dépôt d'argent plus ou moins sulfuré, le liquide se trouble et laisse déposer de l'argent, du sulfure d'argent et même du soufre. Tout ce qui accélère ou accentue l'inversion accroît en même temps l'intensité de ces effets et la rapidité de leur production. C'est donc bien la présence d'un bain d'argentine qui détermine la formation d'une image positive; il est remarquable que non seulement ce bain ne renforce que très peu le négatif d'abord obtenu, mais que l'intensité du positif complémentaire continue à augmenter après la disparition complète du bromure d'argent de la plaque. Il est, par suite, certain que les noirs du positif ne sont pas formés de la même manière que ceux du négatif, mais sont dus à une véritable argentine de la gélatine.

Le dépôt qui constitue cette image déposée ainsi en second lieu est très différent de celui qui forme les clichés ordinaires par réduction des grains de bromure d'argent sur place. Il est formé de grains beaucoup plus fins et, dans certains cas, paraît n'être pas constitué par de l'argent réduit. Avec les plaques Jouglà par exemple, si on arrête l'expérience dès que le positif a franchement dépassé en intensité le négatif initial, il suffit de tremper l'épreuve dans l'hyposulfite de soude pour voir disparaître tout le dépôt complémentaire, et il ne subsiste que le négatif ordinaire à peine voilé.

En présence de ces faits, on est conduit à admettre avec MM. Lumière qu'on est en présence d'un *voile dichroïque* simplement exagéré. Ce voile, jaunâtre par transmission et bleuâtre par réflexion, est également formé par un dépôt à grains extrêmement fins, et il se produit pendant le fixage, c'est-à-dire au moment où la gélatine contient à la fois un réducteur et de l'argent dissous (hyposulfite double d'argent et de sodium), c'est-à-dire un bain d'argentine. La lumière facilite la formation de ce voile, mais elle n'est pas nécessaire et, avec certains révélateurs surtout (pyrocatéchine, métoquinone), on obtient un voile intense en se servant d'un hyposulfite déjà usagé, c'est-à-dire chargé d'argent et de révélateur, ou même simplement en évitant de

laver le cliché avant le fixage ; on réussit encore mieux en remettant le négatif dans le révélateur au sortir du bain de fixage ⁽¹⁾.

Or ce voile présente une propriété extrêmement remarquable d'autant plus facile à observer que sa teinte le distingue franchement de l'image proprement dite : très intense dans les régions tout à fait transparentes de l'épreuve, beaucoup plus faible dans les parties déjà teintées, nul dans les grands noirs de l'épreuve, il constitue, en jaune, le complément du négatif, c'est-à-dire une image positive. En raison de cette propriété, il est particulièrement intense dans les clichés à grande transparence, c'est-à-dire sous-exposés. Cette dernière condition est justement celle qui convient le mieux pour obtenir qu'une image vire du négatif au positif.

Ce qui se passe dans l'expérience de de La Blanchère, ou avec les plaques au gélatino-bromure d'argent abandonnées dans un bain faible, consiste donc en ceci :

Les particules de chlorure ou de bromure d'argent impressionnées sont d'abord réduites et constituent le négatif ordinaire. On ajoute alors au bain une dose notable d'azotate d'argent, ou on laisse la plaque dans le révélateur qui a déjà dissous du bromure d'argent et continue à s'en charger de plus en plus. Dans les deux cas, on a un cliché dans un bain d'argenteure qui tend à déposer du métal partout, sur les parois de la cuve aussi bien que sur l'épreuve, et il en résulte d'abord un léger accroissement des grains d'argent de l'image, c'est-à-dire un renforcement de celle-ci. Mais ce renforcement s'arrête bientôt, et les particules non seulement cessent d'attirer l'argent en voie de réduction, mais s'opposent à sa précipitation dans les régions qu'elles occupent dans le collodion ou la gélatine (noirs du négatif). Le métal va donc se déposer surtout dans les plages inoccupées, et en quantité d'autant plus grande que ces plages seront plus parfaitement exemptes de tout grain d'argent ; de là une réussite plus certaine avec les clichés sous-exposés, présentant de grandes transparences. Les noirs du négatif ne permettront aucune précipitation, les demi-teintes donneront un effet intermédiaire. Le dépôt d'argent produit par le bain sera donc complémentaire de l'image donnée par le développement ordinaire, ce sera un positif ; son intensité pourra

(1) De La Blanchère avait déjà signalé la formation d'un voile rougeâtre pendant le fixage, et il avait vérifié que ce voile se produit très bien en versant une solution d'acide pyrogallique sur un négatif qu'on vient de fixer au cyanure de potassium.

être très supérieure à celle du négatif dont il comble les vides, car la grosseur des particules déposées peut devenir la même que pour ce négatif, mais leur nombre n'est pas limité par celui des granules de l'émulsion ; il dépendra seulement du nombre des germes capables d'attirer l'argent, poussières ou précipités salins contenus dans la gélatine, ou peut-être particules colloïdales de celle-ci.

On verra donc se former d'abord un voile dichroïque positif, qui peu à peu se renforcera par accroissement de grosseur des particules qui le composent et semblera subir, comme l'indique de La Blanchère, un véritable développement, à la fin duquel le positif obtenu l'emportera notablement comme opacité sur le négatif initial ; l'ensemble de l'épreuve sera par suite positif, les blancs étant toutefois constitués par les noirs du négatif. Ces noirs seront d'autant plus clairs que l'exposition aura été moindre et pourront, par contraste, paraître relativement limpides.

Si cette manière de voir est exacte, s'il s'agit non de phénomènes photochimiques, mais d'attractions et de répulsions réciproques



FIG. 1.

entre petites particules, dues peut-être à leur signe électrique, on peut se débarrasser de toute la partie photographique de l'expérience et employer par exemple des clichés fixés, lavés et séchés, et rendus ainsi insensibles à la lumière ; on doit devenir tout à fait maître des résultats en perfectionnant les bains d'argentine ; enfin des effets tout à fait semblables pourront être obtenus avec des substances autres que l'argent. L'expérience vérifie complètement ces prévisions et montre que ce genre de phénomènes est d'une extrême généralité.

On prend, par exemple, un négatif stéréoscopique extrêmement faible, fixé et lavé depuis longtemps, on imprègne l'une des images d'une dissolution concentrée de bromure d'argent dans le sulfite de

soude, et on la traite par un bain de métoquinone et sulfite de soude ; l'autre image sert de témoin ⁽¹⁾. On voit aussitôt se former un voile dichroïque qui se renforce rapidement, dépasse bientôt en intensité le négatif, et l'inversion est complète en quelques instants (*fig. 1*). On voit que les noirs du négatif, jouant maintenant le rôle de blancs, sont légèrement renforcés. On peut également immerger le négatif dans un bain de métoquinone et sulfite de soude contenant un peu de chlorure ou de bromure d'argent dissous dans du sulfite de soude. Suivant la concentration, l'expérience dure à volonté dix minutes ou plusieurs jours ⁽²⁾.

Le ton de l'épreuve est violacé, la teinte variant un peu suivant qu'on prend du chlorure ou du bromure d'argent.

On réussit également très bien en traitant le négatif par une dissolution d'azotate d'argent, puis par un révélateur. L'inversion est alors extrêmement rapide et le dépôt d'argent est gris bleuâtre.

Dans toutes ces expériences, il faut avoir soin de prendre des



FIG. 2.

négatifs très limpides ; ils peuvent d'ailleurs être très faibles, ce qui montre à quel point les particules d'argent préexistantes s'opposent au dépôt ultérieur : le moindre voile gênerait beaucoup la formation de ce dépôt (à moins bien entendu que ce ne soit le voile dichroïque).

(1) Dans toutes ces expériences, j'ai utilisé constamment les plaques Lumière afin de réduire le nombre des paramètres variables, parmi lesquels intervient la perméabilité de la gélatine.

(2) Quand on mélange la solution argentifère au réducteur, on ne peut employer des liqueurs aussi concentrées que dans le cas précédent ; on obtiendrait une réduction en masse de l'argent dissous avant que la gélatine n'ait été pénétrée par le réactif.

On réussit également bien avec une solution de sulfite d'argent dans le sulfite de soude, ou de chlorure ou bromure d'argent dans l'hyposulfite, ce dernier cas correspondant précisément aux conditions dans lesquelles se forme d'ordinaire le voile dichroïque.

Le bain d'argenture peut être remplacé par d'autres solutions métalliques. On peut par exemple prendre un cliché semblable à celui de la *fig. 1*, ou plus simplement un négatif consistant en un cercle blanc bien limpide entouré d'un fond gris (ombre d'une pièce de monnaie), et l'imprégner, avant ou après fixage, d'une solution de chlorure d'or contenant une trace d'acide oxalique. On traite ensuite par l'oxalate neutre de potasse (température 20° environ). Le négatif est d'abord viré par substitution, puis le cercle blanc se remplit d'un dépôt intense d'or bleu par transparence et fortement miroitant par réflexion sur le côté gélatine : c'est de la dorure localisée.

La *fig. 2* montre le résultat d'une expérience de ce genre ; le négatif (ombre d'une roue d'engrenage) a été traité après fixage comme il vient d'être dit, puis éclairé par une lampe et photographié dans la direction de la réflexion régulière. On voit que le dépôt miroitant est strictement limité au contour du négatif.

On peut supprimer le traitement par l'oxalate de potasse ; l'acide oxalique suffit, à la condition d'attendre plus longtemps.

Le rôle des germes est facile à mettre en évidence avec les dépôts d'or. Un faible voile d'oxalate de chaux, obtenu par un lavage à l'eau de la Vanne suivi d'un traitement par l'acide oxalique, facilite sensiblement la formation du dépôt.

Le sulfate ferreux concentré, maintenu entre + 20° et + 25°, convient également comme réducteur et donne de l'or bleu verdâtre. La réduction est extrêmement rapide.

On peut répéter la même expérience en remplaçant le chlorure d'or par le chloropalladite de potassium qu'on verse sur le cliché avec un peu de formiate de soude. On obtient un positif brun formant un très beau miroir de palladium.

Le chloroplatinite de potassium convient également ; il suffit, après imprégnation du cliché par le sel, de réduire par l'oxalate ferreux tiède (35°). En une ou deux opérations on obtient un brillant miroir de platine occupant toute la région transparente du négatif. L'ensemble est positif par transparence.

Dans tous ces exemples, les noirs du négatif sont nécessairement

virés et ne peuvent être enlevés après l'opération. On peut les faire disparaître dans les cas suivants :

Le négatif fixé et lavé est traité par le permanganate de potasse (au besoin légèrement acidulé). L'argent disparaît et à sa place se produit un dépôt brun. Ce nouveau négatif, formé par des grains d'hydrate manganique, se comporte vis-à-vis de l'or comme le cliché d'argent. On le traite par une solution de chlorure d'or additionnée d'acide acétique et on réduit par le sulfate ferreux tiède. L'or qui se dépose respecte les régions occupées par l'hydrate manganique, d'autant plus parfaitement qu'elles sont plus intenses; on traite ensuite l'épreuve par l'acide oxalique ou chlorhydrique ou le bisulfite de soude pour enlever le manganèse, et il reste un positif d'or dont les blancs sont cette fois presque purs (inversion vraie).

L'intérêt de cette expérience résulte surtout de la suppression complète de l'argent, c'est-à-dire de la matière provenant d'une opération photographique. On voit en même temps qu'une substance autre que ce métal peut localiser par exclusion la précipitation d'un métal en voie de réduction.

Au point de vue de la beauté des images, le meilleur résultat s'obtient en transformant d'abord en ferricyanure ammoniacal l'argent d'un cliché intense et à grandes transparences. On le traite

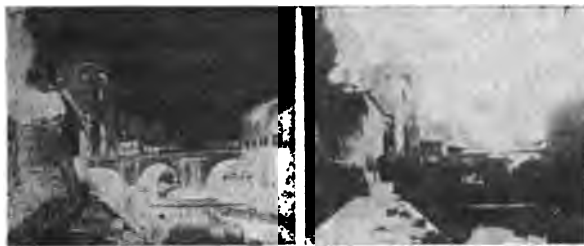


FIG. 3. — Transformation d'un négatif ordinaire en positif à blancs purs. (Epreuve stéréoscopique dont la moitié droite a été transformée, l'autre moitié servant de témoin.)

pour cela par le cyanure rouge à 2 0/0 additionné d'une trace d'ammoniaque. Le ferricyanure d'argent ammoniacal oppose un obstacle presque absolu à la formation d'un dépôt d'or. Si donc on traite le négatif en ferricyanure par du chlorure d'or⁽¹⁾, puis par l'oxalate de potasse à saturation et tiède, l'or, d'abord violet, puis rose,

(¹) Solution à 1 0/0 sans acide oxalique, à cause du sel ammoniacal.

se dépose en premier lieu dans les grandes transparences du cliché; en réitérant l'opération, les demi-teintes sont envahies à leur tour, et, en dissolvant ensuite le sel d'argent par l'iodure de potassium⁽¹⁾, on obtient un très beau positif, semblable à un vitrail, dont les blancs sont absolument parfaits (*fig. 3*).

Le ton obtenu est très différent de celui que donne ordinairement l'oxalate employé comme réducteur. Cette différence paraît tenir au tannage que le cyanure fait subir à la gélatine; cette circonstance a d'ailleurs l'avantage de permettre l'emploi d'un bain réducteur tiède.

On peut enfin prendre comme point de départ une image n'ayant pas une origine photographique :

Une lame de gélatine sur verre (plaque au bromure d'argent fixée et lavée sans impression ni développement) est plongée quelques instants dans une solution de chromate de potasse; un dessin quelconque est ensuite tracé sur la gélatine avec un pinceau chargé de nitrate de plomb; on obtient ainsi un précipité colloïdal transparent de chromate de plomb, localisé à volonté. Après lavage, on plonge successivement la plaque dans de l'azotate de baryte, puis dans du sulfate de soude. On observe invariablement que le précipité de sulfate de baryte est complètement exclu des plages déjà occupées par le chromate de plomb, et celles-ci se détachent, par transparence, en jaune clair, sur fond presque opaque (*fig. 4*).



FIG. 4. ♦

Cette expérience montre clairement que la lumière ne joue aucun rôle dans ces phénomènes.

Tous les précipités ne possèdent pas la propriété d'exclure ainsi un autre précipité. Dans certains cas, la répulsion est remplacée par une attraction. Un dépôt d'or rose, par exemple, attire l'argent en voie de précipitation. On s'en assure aisément en déposant sur de la gélatine une goutte de chlorure d'or qu'on réduit par l'oxalate de potasse; si

(1) On pourrait employer l'hyposulfite de soude.

on fait agir ensuite l'un des bains d'argenteure indiqués plus haut, tout l'argent se dépose sur les particules d'or, et l'opacité de la tache d'or devient presque complète.

Certains précipités argentiques possèdent la même propriété attractive, par exemple les granules qui constituent les images de noircissement direct sur gélatino-chlorure ou gélatino-bromure d'argent, ou sur papiers dits pour noircissement direct.

L'épreuve reproduite (*fig. 5*) a été obtenue de cette manière : une plaque Perron au gélatino-chlorure d'argent à grain très fin (émulsion pour tons chauds) a été exposée environ vingt minutes à la lumière sous un négatif. L'image positive très faible ainsi obtenue a été recouverte d'une solution de chlorure d'or à 1/2 0/0 additionnée d'une trace d'acide oxalique. L'or réduit s'est déposé presque uniquement sur les particules constituant l'image, et ce développement physique a donné une épreuve intense d'or vert. Cette expérience réussit d'autant mieux que le grain est plus fin, sans doute parce qu'il y a en pareil cas un plus grand nombre de points d'appel, de germes, par unité de surface.



FIG. 5.

Le rôle des germes et celui de la grosseur des particules peuvent être mis en évidence d'une manière frappante par l'expérience suivante :

On traite un vieux cliché par la liqueur de Farmer (hyposulfite de soude et ferricyanure de potassium); tout l'argent se dissout, mais à la place qu'il occupait subsiste soit une déformation de la gélatine, soit une trace de dépôt calcaire provenant des eaux de lavage et ayant cristallisé sur les grains de métal.

Après lavage, et même séchage, on traite cette gélatine par une solution de chlorure d'argent dans le sulfite de soude et le révélateur à la métoquinone. Aussitôt l'image détruite se reforme, d'abord à

grain très fin ; elle se renforce peu à peu, noircit par suite du grossissement des grains et revient à sa valeur primitive. Si on essaye d'aller au delà, c'est alors le voile dichroïque qui apparaît, puis l'image complémentaire qui aboutit à l'inversion. On peut détruire à nouveau l'image réapparue, laver et recommencer. La trace laissée par cette image dans la gélatine est presque indélébile.

SILHOUETTAGE.

Dans nombre de journaux illustrés qui publient des photogravures, les nécessités de la mise en pages obligent souvent à faire empiéter un sujet sur le sujet adjacent. La tête d'un personnage est, par exemple, enclavée dans le premier plan d'un paysage placé au-dessus. Pour que la partie enclavée se détache, on l'entoure d'un trait blanc qui en suit exactement la silhouette. Ce dédoublement, ici artificiel, des contours d'un objet, peut définir ce qu'il convient d'entendre par le mot silhouettage.

On observe un phénomène absolument identique dans un certain nombre d'expériences photographiques, et ce phénomène a été signalé pour la première fois par Schouwaloff, précisément dans les cas d'inversion par addition de liqueur argentique à un révélateur.

Ce liséré blanc se produit en effet invariablement dans toutes les expériences décrites au chapitre précédent ⁽¹⁾ ; il est la conséquence nécessaire de l'incompatibilité de site de deux dépôts différents. Une plage occupée par des grains d'argent n'est en effet jamais à bords rigoureusement nets, quelle que soit la manière dont elle s'obtient ; sa limite réelle est donc un peu au delà de son contour apparent : or c'est la limite réelle qui définit le domaine du dépôt formé ultérieurement. Le liséré clair représenterait alors la largeur de la pénombre invisible. Cette manière de voir est d'accord avec le fait qu'en produisant un dépôt intense on arrive à combler presque entièrement la bande claire en question. Dans le cas où le signe électrique des précipités interviendrait, une répulsion à distance se comprendrait d'ailleurs aisément.

Il est évident que ce silhouettage ne peut être que blanc ⁽²⁾, et qu'il

⁽¹⁾ Sauf peut-être pour l'or réduit par l'hydrosulfite de soude.

⁽²⁾ Si on pouvait produire un troisième dépôt exclu par les deux premiers, il tendrait évidemment à remplir le silhouettage et à le noircir, mais il serait lui-même silhouetté de blanc de part et d'autre, de telle sorte que l'énoncé subsisterait.

est toujours pris sur le dépôt formé en second lieu. Ses bords, toujours très nets, sont définis par une fine ligne sombre qui renforce le contour des plages séparées par la bande claire. Cette ligne a une autre origine que le silhouettage, c'est celle qu'on observe sur le bord d'une tache. On l'obtient, par exemple, en déposant sur de la gélatine une goutte de chlorure d'or ou d'azotate d'argent qu'on réduit ensuite. Cette ligne, qui renforce le contour de la tache, n'a évidemment aucune analogie avec le phénomène dont il s'agit ; un trait de force n'est pas un silhouettage, il accentue un contour, il ne le double pas.

Les opérations photographiques ordinaires consistant à obtenir des dépôts de particules dans du collodion ou de la gélatine permettront naturellement d'obtenir le silhouettage. La condition nécessaire à réaliser sera de produire, par un moyen quelconque, deux dépôts différents occupant des plages contiguës. Cette condition sera en général suffisante. Voici quelques-uns des procédés qu'on peut employer.

On éclaire pendant un instant, aussi court que l'on veut, une plaque antihalo sur laquelle est posée une cache de forme quelconque ⁽¹⁾. On développe, on lave, puis on expose toute la plaque à la lumière, en tenant compte de la moindre sensibilité du bromure mouillé. On a ainsi défini deux régions exactement contiguës et dont chacune n'a été exposée à la lumière qu'une fois, car elles ont été protégées l'une par la cache pendant la première pose, l'autre pendant la seconde par l'argent réduit constituant un véritable cliché appliqué sur le bromure sous-jacent. Ces deux expositions peuvent être à peu près quelconques, le résultat n'en est pas modifié. On remet ensuite la plaque dans le révélateur : la plage primitivement réservée se développe, et, à tout instant de l'opération, on observe qu'elle reste séparée de l'autre par un silhouettage clair ; mais on remarque aussi que, dans la partie exposée à sec, l'argent réduit est noir, tandis qu'il est brun et à grain plus fin, dans la région impressionnée après mouillage.

Le résultat est encore meilleur en faisant la seconde exposition pendant que la plaque est dans le révélateur, mais alors le ton de la plage développée ainsi est violacé, ou même rose (avec le diamidophénol étendu). Suivant la durée de cette deuxième opération, l'en-

(1) Pour éviter la pénombre optique, on emploie la lumière parallèle.

semble de l'épreuve sera positif ou négatif, cela dépendra des valeurs relatives des plages complémentaires, mais le silhouettage sera le même dans les deux cas; il résulte de ce que les particules réduites dans les deux phases de l'expérience sont différentes comme grain (elles diffèrent également au point de vue chimique).



FIG. 6.

La *fig. 6* représente indifféremment les divers silhouettages obtenus avec l'or, le platine, le palladium, l'argent, ou par voie photographique. Dans la première épreuve, le second dépôt commence à rem-



FIG. 7.

plir les blancs du négatif; dans la seconde, il l'emporte en intensité sur le fond, et l'ensemble est un positif. L'image a été grossie 4 fois.

Enfin on peut se contenter d'une exposition unique : on éclaire uniformément toute la surface d'une plaque, puis l'on dépose sur elle deux ou trois gouttes de révélateur à la pyrocatéchine. Au bout de

deux secondes on lave à grande eau, puis on développe à l'hydroquinone. La place occupée par chaque goutte est légèrement plus noire que le fond environnant, et elle s'entoure d'une auréole claire. Si on inverse l'ordre des révélateurs, le phénomène disparaît presque complètement.

Inversement, on peut supprimer toute opération photographique. La *fig. 7* montre, grossi 4 fois, le silhouettage obtenu en prenant de la gélatine imbibée de chromate de potasse et déposant à sa surface une goutte d'une dissolution d'azotate de plomb qu'on étale par saccades en ajoutant brusquement de nouvelles quantités de solution. A chaque opération il se produit une zone nouvelle de chromate de plomb, mais dans des conditions un peu différentes au double point de vue de la composition du liquide et du gonflement de la gélatine. Il en résulte que les précipités colloïdaux successifs sont séparés les uns des autres par une bande claire.

Cette dernière expérience et celle réalisée avec le sulfate de baryte démontrent que ce genre de phénomènes n'a rien de commun avec les actions chimiques de la lumière.

MODIFICATIONS NORMALES ET ANORMALES, SOUS L'INFLUENCE D'UN CHAMP MAGNÉTIQUE, DE CERTAINES BANDES DES SPECTRES D'ÉMISSION DE MOLÉCULES DE DIVERS CORPS A L'ÉTAT GAZEUX;

Par M. A. DUFOUR ⁽¹⁾.

I. — HISTORIQUE.

On sait que les différents spectres se comportent, au point de vue du phénomène de Zeeman, de la manière suivante ⁽²⁾ :

1° Spectres d'émission. — Les *spectres de raies* contiennent des raies sensibles à l'action du champ magnétique et parfois des raies

⁽¹⁾ Séance du 5 juin 1908. — Voir *le Radium*, t. V, octobre 1908, p. 291.

⁽²⁾ Pour plus de détails, se reporter au livre de M. COTTON : *Sur le phénomène de Zeeman*, et à un article qu'il publiera prochainement dans la *Revue générale des Sciences*.

insensibles au champ. Pour les premières, la raie simple, quand le champ n'existe pas, se transforme sous l'action du champ en un certain nombre de composantes qui n'ont pas en général la même longueur d'onde que la raie primitive et qui sont polarisées d'une certaine manière, circulairement quand elles sont données par la lumière qui se propage parallèlement au champ, et rectilignement dans deux directions rectangulaires pour la lumière émise perpendiculairement aux lignes de force. Si l'on appelle phénomène de Zeeman *longitudinal*, celui qu'on observe dans le premier cas, on a trouvé que toutes les raies d'émission sensibles au champ et qu'on a étudiées jusqu'ici, donnent un phénomène de Zeeman longitudinal *normal* dont le caractère est le suivant : la composante dont la longueur d'onde est la plus petite est formée de lumière polarisée circulairement, dont le sens de la vibration est le même que celui des courants d'Ampère relatifs au champ magnétique. Dans le cas de ces raies d'émission, on n'a pas encore trouvé de raies présentant un phénomène de Zeeman longitudinal *anormal* caractérisé, par conséquent, par une rotation en sens inverse des courants d'Ampère pour la composante accélérée.

Relativement aux *spectres de bandes* d'émission, on n'a pas encore trouvé de bandes dont les composantes présentent un phénomène de Zeeman sensible, dans les champs magnétiques créés jusqu'ici⁽¹⁾.

2° Spectres d'absorption. — Les spectres d'absorption des corps gazeux contiennent des raies qui se comportent comme les raies d'émission, et des bandes dont les composantes sont ou insensibles au champ, ou faiblement modifiées par le champ magnétique, comme on le constate pour l'hypoazotide en vapeur⁽²⁾.

Au contraire, les spectres d'absorption des sels de métaux rares à l'état *cristallisé ou dissous* contiennent des bandes qui, ainsi que M. J. Becquerel l'a trouvé, présentent un phénomène de Zeeman normal ou anormal suivant les lignes de force; M. J. Becquerel a signalé, comme on sait, parmi ces bandes, quelques-unes donnant

⁽¹⁾ H. BECQUEREL et DESLANDRES, *C. R.*, **127**-18-1898. — PURVIS, *Proceedings of the Cambridge Philos. Soc.*, t. **13**-vi, p. 354. 1906.

⁽²⁾ RIGHI, *C. R.*, **127**-216-1898 et **128**-45-1899; COTTON, *le Phénomène de Zeeman*, p. 99 et 100; A. DUFOUR, *le Radium*, **5**-86-1908.

un phénomène de Zeeman beaucoup plus grand que celui auquel les raies d'émission nous avaient habitués ⁽¹⁾.

Tel était donc, très brièvement résumé, l'état de nos connaissances sur la façon dont se comportent les sources lumineuses ou absorbantes dans le champ magnétique, avant les recherches exposées dans le présent mémoire.

Dans un travail dont je vais préciser aujourd'hui la technique et les résultats, j'ai apporté les résultats nouveaux suivants, tous relatifs aux *spectres d'émission des gaz* :

1° Il existe des *bandes*, constituées par un ensemble de composantes régulièrement groupées suivant les lois connues ⁽²⁾, qui sont sensibles à l'action d'un champ magnétique, chaque composante présentant le phénomène de Zeeman, soit parallèlement, soit perpendiculairement aux lignes de force ;

2° Parmi ces bandes, les unes donnent le phénomène de Zeeman longitudinal normal, d'autres le phénomène de Zeeman longitudinal *anormal* ;

3° Il existe des *raies* qui présentent le phénomène de Zeeman longitudinal *anormal* ; à la vérité, il faut dès maintenant remarquer que je n'en ai trouvé qu'un petit nombre et qu'elles n'appartiennent pas, au moins jusqu'à présent, à des séries spectrales.

J'ai déjà donné un court résumé de ces différents résultats ⁽³⁾.

A la même époque, M. Wood ⁽⁴⁾ a signalé dans le spectre cannelé d'absorption de la vapeur de sodium l'existence de raies au voisinage desquelles le pouvoir rotatoire magnétique de la vapeur est négatif et confiné d'un seul côté de la raie contrairement à ce qui se passe pour les raies du sodium, par exemple. Il faut remarquer que M. Wood n'a pas pu constater sur ces raies le phénomène de Zeeman longitudinal *anormal*.

Enfin M. J. Becquerel ⁽⁵⁾ en faisant jaillir une étincelle condensée sur une solution de chlorure ou de nitrate d'yttrium, a obtenu des bandes qui se comportent dans le champ magnétique de la même

⁽¹⁾ J. BECQUEREL, *C. R.*, 1906-1907 ; *le Radium*, 3-149-215-1906, 4-49-107-1907, 5-103-1908 ; *Proc. Amsterdam*, 10-589-1908, etc.

⁽²⁾ DESLANDRES, *C. R.*, 103-375 et 104-972.

⁽³⁾ A. DUFOUR, *C. R.*, 146, n° 3, 20 janvier, p. 118 ; n° 5, 3 février, p. 229 ; n° 12, 23 mars, p. 634 ; n° 15, 13 avril, p. 810, 1908.

⁽⁴⁾ WOOD, *Philosophical Magazine*, 15-274, février 1908.

⁽⁵⁾ J. BECQUEREL, *C. R.*, 146-683, 30 mars 1908.

manière que des bandes d'émission du fluorure de calcium, par exemple, que j'avais indiquées antérieurement ⁽¹⁾.

Ce court historique terminé, avant de passer au détail des expériences, je tiens à remercier M. H. Abraham et M. A. Cotton qui ont suivi de près ce travail et qui m'ont donné de précieux conseils.

II. — TECHNIQUE OPTIQUE EMPLOYÉE. — MESURES

Dispositif expérimental optique. — La source lumineuse, flamme ou partie capillaire d'un tube de Geissler, est placée au centre d'un électro-aimant Weiss horizontal : une lentille convergente donne de la source une image réelle sur une lame demi-onde pour les radiations utilisées et dont l'axe est à 45 degrés de la section principale ici verticale, d'un nicol analyseur ; cette lame, coupée de manière à avoir le bord supérieur horizontal, n'est recouverte que par la moitié de l'image réelle de la source, l'autre moitié se formant dans l'air. Le faisceau lumineux tout entier, rendu parallèle à l'aide d'une lentille, traverse ensuite une lame quart d'onde orientée comme la demi-onde, puis le nicol analyseur, une cuve absorbante qui supprime les radiations gênantes et enfin une lentille qui donne une image réelle de la source et par conséquent du bord de la lame demi-onde sur la fente verticale d'un collimateur réglé sur l'infini et dirigé vers un bon réseau concave de Rowland, le même qui m'a déjà servi dans mes précédentes recherches ⁽²⁾. On photographie le spectre du troisième ou du quatrième ordre donné par le réseau en lumière diffractée à peu près normale.

Le dispositif précédent convient pour étudier le phénomène de Zeeman longitudinal : on obtient sur la plaque photographique deux régions juxtaposées correspondant aux rayons qui ont traversé la lame demi-onde et à ceux qui ont passé dans l'air au-dessus d'elle. L'apparence présentée par une raie quand le champ est créé est donc la suivante : il ne reste que la composante droite sur une région de la plaque et la composante gauche sur l'autre ; elles s'intervertissent quand on change le sens du champ.

Pour étudier le phénomène de Zeeman avec la lumière émise per-

⁽¹⁾ A. DUFOUR, *C. R.*, 146-148, 20 janvier 1908.

⁽²⁾ A. DUFOUR, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 8^e série, 9-361-1907. et *le Radium*, 5-86-1908.

pendiculairement au champ, il suffit, avec le dispositif précédent, de tourner l'électro-aimant d'un angle droit et de supprimer la lame quart d'onde.

Obtention des clichés. — 1° *Pour la mesure des longueurs d'onde.* On photographie l'un à côté de l'autre le spectre étudié et le spectre de l'arc au fer, soit par poses simultanées soit par poses alternatives, la pose relative à l'arc au fer étant dans ce dernier cas partagée en deux parties, l'une qui précède la photographie du spectre étudié et l'autre qui la suit.

2° *Pour l'étude du phénomène de Zeeman.* On enregistre par une même pose les régions qui donnent le spectre de la source placée dans le champ magnétique, chaque région ne comportant qu'une direction donnée de vibration. Les durées de pose ont en général varié de 30 à 45 minutes par couple de régions.

Mesure des clichés. — Les mesures sur les clichés négatifs originaux ont été faites à la machine à diviser, à l'aide d'un viseur grandissant cinq à six fois, muni d'un réticule à deux fils parallèles; on amène la raie visée soit sur l'un des fils du réticule, soit au milieu de leur intervalle.

Les longueurs d'onde ont été déduites de celles des raies du spectre de l'arc au fer et des tables de MM. Buisson et Fabry⁽¹⁾.

Précision des mesures. — Une unité d'Angström correspond à une distance d'un tiers de millimètre environ pour les clichés faits dans le spectre de troisième ordre du réseau; la machine à diviser donne le $\frac{1}{800}$ de millimètre à chaque pointé, mais comme les composantes des bandes sont en général dégradées d'un certain côté, on ne peut repérer leur place avec autant de certitude que pour une raie fine d'apparence symétrique: en fait on ne peut guère répondre de plus de $\frac{1}{50}$ de millimètre sur leur position résultant des mesures. En conséquence, si le chiffre des dixièmes d'unité d'Angström peut être considéré comme exact à moins d'un demi-dixième d'U. A. près

(1) FABRY et BUISSON, C. R., 143-165-1906.

le chiffre suivant est donné simplement à titre d'indication dans les tableaux numériques ultérieurs.

Pour ce qui concerne les écarts des doublets observés dans le champ magnétique la précision est bien inférieure encore : à l'erreur possible sur la valeur du champ magnétique dans chaque expérience vient s'ajouter l'erreur due aux pointés où l'on est gêné par la constitution même des radiations étudiées. Sien tant que mesures relatives les résultats obtenus sur un même cliché sont assez satisfaisants, les nombres donnés pour les valeurs absolues des écarts des doublets ne sont que grossièrement approchés, l'erreur peut facilement arriver au $\frac{1}{20}$ et même au $\frac{1}{10}$. Je ne me suis d'ailleurs pas proposé, dans ce présent travail, de mesurer d'une manière précise l'action du champ magnétique sur les composantes des bandes, mais simplement de montrer cette action d'une manière certaine et à cet effet d'en donner surtout l'ordre de grandeur, remettant à plus tard les mesures précises.

III. — EXPÉRIENCES FAITES SUR LES FLUORURES ET CHLORURES ALCALINO-TERREUX.

Les spectres de bandes des fluorures alcalino-terreux ont déjà fait l'objet d'une étude soignée par M. Fabry⁽¹⁾ qui les obtenait par volatilisation des sels dans l'arc électrique (charbons d'arc à flamme). Il a donné les fréquences N des composantes des bandes et les formules du type de M. Deslandres $N = A \pm (Bm + C)^2$ qui les relient entre elles et dans lesquelles B seul peut être positif ou négatif. Ces bandes sont d'ailleurs renversables comme l'a montré Walter⁽²⁾, puis Humphreys⁽³⁾. De nouvelles mesures ont été données par Rösch⁽⁴⁾ sur ces spectres produits dans l'arc.

Cette étude a été reprise et étendue aux différents composés alcalino-terreux halogénés par Morgan Ohmsted⁽⁵⁾ qui volatilise dans la flamme d'un chalumeau alimenté par du gaz d'éclairage et de l'oxygène ces différents sels.

(1) FABRY, C. R., 138-1581-1904 et 140-578-1905; *J. de Phys.*, 4^e série, 4-245-1905; *Astrophys. Journal*, 21, n° 4, mai 1905.

(2) WALTER, *Physik. Zeitschrift*, 9-233-1908.

(3) HUMPHREYS, *Astrophys. Journal*, 22, n° 3, p. 220, 1905.

(4) RÖSCH, *Inaug. Dissert. Bonn*, 1906.

(5) OHNSTED, *Beiblätter*, 31-283-1907.

Source lumineuse employée. — J'ai utilisé un procédé tout à fait analogue au précédent pour obtenir les spectres des corps que j'ai étudiés au point de vue du phénomène de Zeeman. Le sel est projeté à l'état de poudre fine et sèche dans la flamme d'un chalumeau oxyacétylénique ; il y est immédiatement volatilisé et émet alors son spectre propre, ainsi que celui des produits de sa dissociation ou de sa décomposition par réaction chimique sur les gaz de la flamme.

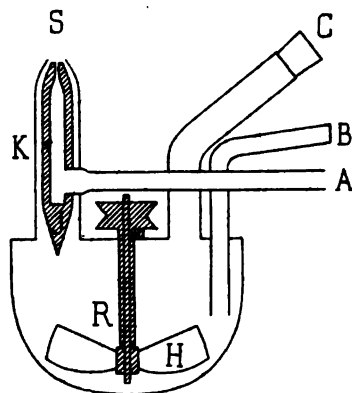


FIG. 1.

La *fig. 1* représente le chalumeau et l'appareil projecteur employés. Le mélange d'acétylène et d'oxygène arrive par le tube A et vient brûler en S en donnant une flamme verticale, bleue, très peu lumineuse et très chaude. Le sel en poudre, versé par le tube C, qu'on referme aussitôt par un bouchon, arrive dans le réservoir R, dans lequel peut tourner très rapidement une hélice H mue à l'aide d'une poulie reliée à un moteur électrique. A cause de la rotation de l'hélice H dans un sens convenable, il se produit un nuage permanent formé du sel en poussière constamment projeté de bas en haut. Un courant d'air sec, arrivant par le tube B, entraîne la poudre en suspension jusque dans la flamme au travers de l'espace annulaire compris entre les tubes J et K. On obtient une flamme très éclairante d'éclat suffisant pour l'étude au réseau ⁽¹⁾.

(1) Il est indispensable de mettre les appareils et l'opérateur à l'abri des vapeurs qui s'échappent de la flamme. A cet effet, un ventilateur aspire ces produits immédiatement au-dessus de l'électro-aimant et les rejette au dehors du laboratoire.

Les dimensions de l'appareil sont assez petites pour qu'on puisse l'introduire en entier entre les deux bobines d'un électro-aimant Weiss ordinaire (diamètre des noyaux = 7 cm.) ; on a en général opéré avec des entrefers de 8 millimètres donnant un champ de 13 700 unités environ pour les observations faites dans le sens des lignes de force et un champ de 17 000 quand les trous des pièces polaires sont bouchés pour l'observation dans le sens perpendiculaire au champ.

REMARQUE. — Pour avoir plus de certitude dans la désignation des bandes qui présentent le phénomène de Zeeman, j'ai mesuré à nouveau les longueurs d'onde de leurs composantes. Les nombres donnés dans la seconde colonne des tableaux numériques qu'on trouvera plus loin sont donc les longueurs d'onde dans l'air des composantes des bandes déduites des mesures faites sur mes clichés. Les valeurs des intensités inscrites dans la colonne suivante sont données simplement à titre d'indication pour qu'on puisse voir le sens dans lequel les bandes sont dégradées ; les nombres sont d'autant plus grands que l'intensité est plus forte.

Fluorure de calcium. — Toutes les bandes du fluorure de calcium, assez intenses pour que j'aie pu les voir, ont paru sensibles à l'action du champ magnétique, mais à des degrés divers. Ainsi les bandes appelées B_1 et B_2 par M. Fabry et pour lesquelles la constante B de la formule des fréquences est positive, subissent une très faible modification dans le champ, tandis que les bandes C , D , D' , D'' , D''' , pour lesquelles la constante B seule a changé de signe, donnent une modification très notable. Je signale de suite que C et D''' très peu intenses présentent le phénomène de Zeeman longitudinal anormal, et j'insisterai seulement sur D , D' , D'' , très intenses et que j'ai photographiées.

Au sujet de ces trois bandes D , D' , D'' , M. Henri Becquerel⁽¹⁾ a émis l'opinion qu'elles étaient dues à un spectre de terres rares et qu'elles correspondaient au groupe orangé (λ 607 $\mu\mu$ -602 $\mu\mu$) du samarium : il a reconnu d'ailleurs lui-même⁽²⁾ qu'après avoir varié les conditions des expériences, il ne pouvait maintenir cette conclusion.

(1) H. BECQUEREL, *C. R.*, **146**, n° 4, 27 janvier, p. 454 à 456, et n° 6, 10 février, p. 257, 1908; *le Radium*, **5**, n° 4, avril, p. 412, 1908.

(2) H. BECQUEREL, *C. R.*, **146**, n° 9, 2 mars 1908. *Sur quelques spectres de phosphorescence*, p. 444 et 445.

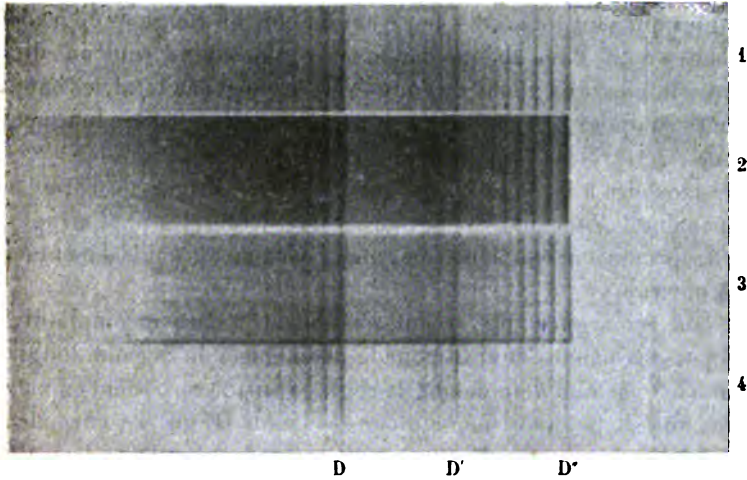


FIG. 2. — Phénomène de Zeeman longitudinal présenté par le spectre d'émission du fluorure de calcium (1 et 4 sans champ, 2 et 3 avec champ).

La bande D' qui part de $\lambda = 6064,49$ est normale; la bande D' ($\lambda = 6050,81$) et la bande D ($\lambda = 6036,96$) sont anormales avec résidu ($H = 13700$).

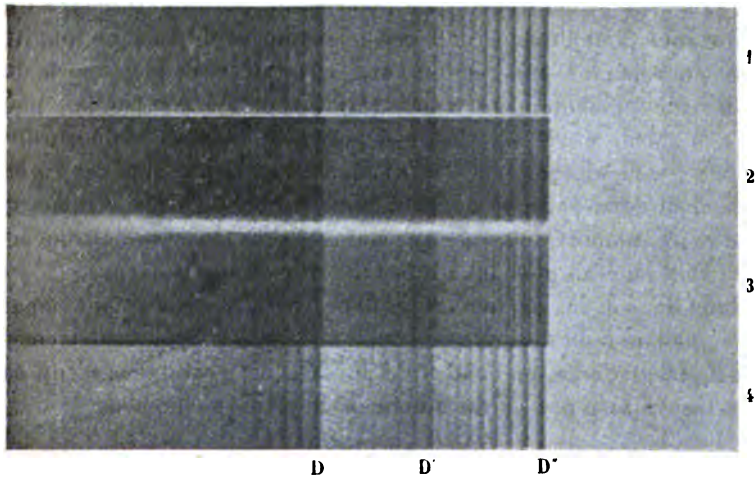


FIG. 3. — Phénomène de Zeeman (observation perpendiculaire au champ) présenté par le spectre d'émission du fluorure de calcium (1 et 4 sans champ; 2 et 3 avec champ; la région 2 est formée des vibrations perpendiculaires au champ).

Les bandes D' et D' donnent un quadruplet inverse; la bande D donne un même doublet pour les deux directions de vibration ($H = 17000$).

Ces bandes D, D', D'' du fluorure de calcium sont formées de composantes qui sont toujours à bord net du côté du rouge et dégradées de l'autre côté; dans chaque bande les composantes vont en diminuant d'intensité en allant du rouge vers le violet; au total, les bandes et leurs composantes sont dégradées du côté des petites longueurs d'onde.

On trouvera à la page 233 le tableau des résultats de l'étude du phénomène de Zeeman pour le fluorure de calcium; les photographies 2 et 3 reproduisent les clichés originaux avec un agrandissement égal à 2,5 environ.

Il faut remarquer que la polarisation circulaire incomplète des doublets des bandes D et D' pour le phénomène de Zeeman longitudinal n'est pas due à un défaut de réglage puisqu'on obtient en même temps que D, D' sur la même plaque la bande D'' qui est normale et dont les doublets présentent une polarisation circulaire pure. Ces faits ont été vérifiés plusieurs fois avec beaucoup de soin aussi bien sur le spectre d'émission de la vapeur de fluorure de calcium que sur son spectre d'absorption. Un phénomène analogue avait été déjà constaté⁽¹⁾ sur des bandes d'absorption de certains cristaux de terres rares.

L'existence de ces résidus de polarisation paraît devoir être très importante pour l'explication des phénomènes de Zeeman longitudinaux anormaux. Nous verrons que les autres bandes anormales étudiées ici présentent un même résidu, mais je n'ai pas fait pour elles la même étude soignée que pour les bandes du fluorure de calcium, car les lames demi-onde et quart d'onde n'étaient pas rigoureusement demi-onde et quart d'onde pour les autres régions du spectre; néanmoins il semble que cette polarisation circulaire incomplète soit générale pour les bandes anormales de ces corps.

Enfin, dans le cas particulier du fluorure de calcium, il faut remarquer que l'on a un exemple de bande donnant, perpendiculairement aux lignes de force, un quadruplet inverse; ceci est intéressant, car on a trouvé bien peu de raies donnant le même phénomène.

⁽¹⁾ J. BECQUEREL, *Proceed. Amsterdam*, 10-559-1908.

Résultats de l'étude du phénomène de Zeeman sur certaines bandes du spectre d'émission du fluorure de calcium.

Numéro d'ordre arbitraire	Longueur d'onde en U. A.	Intensité	Observation faite		Schémas	Observation faite
			parallèlement au champ	perpendiculairement au champ		
			(ramenée à $H \equiv 10.000$)			(ramenée à $H \equiv 10.000$)
Bande D						
7	6026,65	1	Phénomène anormal. (La polarisation circulaire est incomplète.) L'écart du doublet est d'environ 0,31 U. A.			
6	6027,91	2				
5	6029,48	3				
4	6031,15	4				
3	6032,97	5				
2	6034,91	6				
1	6036,96	7				
Bande D'						
5	6043,69	1	Même résultat que pour la bande D.			
4	6045,24	2				
3	6046,90	3				
2	6048,84	4				
1	6050,81	5				
Bande D''						
9	6051,77	1	Phénomène normal.			
8	6052,86	2				
7	6054,40	3	Cette fois la polarisation circulaire est complète.			
6	6055,48	4				
5	6057,01	5				
4	6058,70	6				
3	6060,49	7				
2	6062,40	8				
1	6064,49	9				

Chlorure de calcium. — Je n'ai étudié pour ce corps que les trois bandes que j'appelle Δ , Δ' et Δ'' et qui correspondent aux précédentes D, D', D'' du fluorure de calcium, mais avec des composantes plus serrées.

On remarquera que ces bandes se comportent dans le champ magnétique d'une manière tout à fait analogue à celles du fluorure. J'ai retrouvé cette même similitude dans les bandes du bromure de calcium que j'ai aussi étudiées.

Résultats de l'étude du phénomène de Zeeman sur certaines bandes du spectre d'émission du chlorure de calcium.

Numéros d'ordre arbitraire	Longueur d'onde en U. A.	Intensité	Observation faite parallèlement au champ (ramenée à H = 10.000)	Observation faite perpendiculairement au champ (ramenée à H = 10.500)
Bande Δ.				
7	6180,03	1	Phénomène anormal.	Chaque composante
6	6180,56	2	(Polarisation circulaire incomplète),	donne un doublet
5	6181,15	3	L'écart du doublet	égal pour les deux
4	6181,82	4	est d'environ — 0,34	directions de vibration
3	6182,65	5	U. A.	d'environ 0,34
2	6183,60	6		U. A.
1	6184,56	7		
Bande Δ'.				
2	6192,20	2	Phénomène anormal.	Paraît donner un quadruplet inverse.
1	6193,04	3		
Bande Δ''.				
5	6207,68	3	Phénomène normal	Chaque composante
4	6208,44	4	(Polarisation circulaire complète).	paraît donner un
3	6209,32	5	L'écart du doublet	quadruplet inverse.
2	6210,24	6	est d'environ + 0,34	L'écart des doublets
1	6211,25	7	U. A.	est d'environ 0,34
				U. A. et 0,36 U. A.

Fluorure de strontium. — Je désigne les bandes du fluorure de strontium de la même manière que M. Fabry. La bande B₂ (vers $\lambda = 578$) qu'on voit assez facilement, donne un phénomène de Zeeman très petit, dans le genre de celui des bandes B du fluorure de calcium. Les autres bandes D', E, E', E'', E''' que j'ai photographiées donnent un phénomène notable; pour la bande D', dont les composantes sont peu intenses et assez serrées, les clichés ne peuvent renseigner nettement, car les doublets empiètent les uns sur les autres; au contraire, pour E, E', E'', les résultats ne sont pas douteux, E'' a

une intensité trop faible pour qu'on puisse être affirmatif. On trouvera à cette page même le tableau numérique relatif à ce corps.

Résultats de l'étude du phénomène de Zeeman sur certaines bandes du spectre d'émission du fluorure de strontium.

Numéro d'ordre arbitraire	Longueur d'onde en U. A.	Intensité	Observation faite parallèlement au champ (ramenée à $H = 10\,000$)	Observation faite perpendiculairement au champ (ramenée à $H = 10\,000$)
Bande D'				
9	6409,57	1,1	Probablement phénomène normal. ??	??
8	6410,65	1,3		
7	6411,73	1,5		
6	6412,84	1,7		
5	6414,07	1,9		
4	6415,23	2,1		
3	6416,46	2,3		
2	6417,64	2,5		
1	6418,82	2		
Bande E				
10	6483,96	5,5	Phénomène anormal. L'écart du doublet est d'environ $-0,40$ U. A.	Chaque composante donne un doublet égal pour les deux directions de vibration, d'environ $0,40$ U. A.
9	6486,84	6		
8	6489,71	6,5		
7	6492,75	7		
6	6495,85	7,5		
5	6498,95	8		
4	6502,08	8,5		
3	6505,27	9		
2	6508,52	9,5		
1	6511,84	10		
Bande E'				
6	6510,79	1,5	Phénomène anormal, comme pour la bande E. L'écart du doublet est d'environ $-0,40$ U. A.	Se comporte comme la bande E.
5	6514,02	1,6		
4	6517,31	1,7		
3	6520,63	1,8		
2	6524,00	1,9		
1	6527,39	2		
Bande E''				
8	6610,18	1,5	Phénomène normal. L'écart du doublet est d'environ $+0,43$ U. A.	Chaque composante donne encore un doublet égal pour les deux directions de vibration, d'environ $0,43$ U. A.
7	6613,21	2		
6	6616,35	2,5		
5	6619,39	3		
4	6622,59	3,5		
3	6625,86	4		
2	6629,09	4,5		
1	6632,43	5		
Bande E'''				
4	6644,96	0,2	Probablement phénomène anormal. ??	??
3	6648,39	0,3		
2	6651,85	0,4		
1	6655,40	0,5		

*Résultats de l'étude du phénomène de Zeeman sur certaines bandes
du spectre d'émission du chlorure de strontium.*

Numéro d'ordre arbitraire	Longueur d'onde en U. A.	Intensité	Observation faite parallèlement au champ (ramenée à H 10 000)	Observation faite perpendiculairement au champ (ramenée à H = 10 000)
Bande e				
4	6485,16	1,6	Probablement phéno- mène anormal.	Chaque composante paraît donner un doublet symé- trique.
3	6486,96	1,8		
2	6488,83	2		
1	6490,85	2		
Bande f				
7	6596,01	1	Phénomène anormal. L'écart du doublet est d'environ — 0,43 U. A.	Chaque composante donne un quadru- plet presque symé- trique, qui serait inverse, et dont les doublets sont d'en- viron 0,43 U. A. et 0,41 U. A.
6	6598,86	2		
5	6601,73	3		
4	6604,57	4		
3	6607,52	5		
2	6610,55	6		
1	6613,59	7		
Bande g				
6	6604,95	2	Phénomène anormal. L'écart du doublet est d'environ — 0,40 U. A.	Se comporte comme la bande f. Les dou- blets seraient d'en- viron 0,40 U. A. et 0,39 U. A.
5	6607,88	3		
4	6610,76	4		
3	6613,72	5		
2	6616,74	6		
1	6619,81	7		
Bande h				
6	6729,10	1,5	Phénomène normal. L'écart du doublet est d'environ + 0,48 U. A.	Chaque composante donne un quadru- plet normal dont les doublets sont d'en- viron 0,48 U. A. et 0,25 U. A.
5	6732,12	2		
4	6735,28	2,5		
3	6738,25	3		
2	6741,41	3,5		
1	6744,61	4		
Bande i				
6	6739,92	0,5	Phénomène anormal. L'écart du doublet est d'environ — 0,48 U. A.	Chaque composante donne un doublet qui paraît être égal pour les deux direc- tions de vibration, d'environ 0,48 U. A.
5	6743,07	0,7		
4	6746,22	0,9		
3	6749,19	1,1		
2	6752,44	1,3		
1	6755,51	1,5		

Chlorure de strontium. — Ce corps donne un des plus beaux spec-
tres de toute cette série; on y trouve un grand nombre de bandes,
les composantes de toutes ces bandes étant dégradées vers le violet
et diminuant d'intensité en allant vers le violet, comme cela se pré-
sente d'ailleurs pour les bandes contenues dans les trois tableaux
précédents. Sur les clichés obtenus, on trouve deux bandes (c) et (d)

très intenses, la première partant de $\lambda = 6358,58$ et la seconde de $\lambda = 6362,39$ et dont les composantes sont mélangées à partir d'un certain moment ; elles sont toutes deux très nettement sensibles au champ magnétique, mais elles donnent un phénomène beaucoup plus compliqué que les autres bandes étudiées dans ce mémoire ; je ne parlerai pas ici de ces bandes, remettant à une publication ultérieure les résultats que leur étude m'a fournis. Je me limiterai aux bandes (e) , (f) , (g) , (h) , (i) , qui sont rapportées dans le tableau de la page 238.

Il faut remarquer dans ce tableau la bande (h) qui donne un quadruplet normal bien net, le premier rencontré ici, et qui rappelle, tout en étant un peu plus grand, le quadruplet donné par la raie D, du sodium.

Résultats de l'étude du phénomène de Zeeman sur certaines bandes du spectre d'émission du fluorure de baryum.

Numéro d'ordre arbitraire	Longueur d'onde en U. A.	Intensité	Observation	Observation
			faite parallèlement au champ (ramenée à H = 10 000)	faite perpendiculairement au champ (ramenée à H = 10 000)
Bande A				
2	4950,85	10	Phénomène anormal.	Chaque composante donne un quadrup- let presque symé- trique et qui serait peut-être inverse.
3	4952,66	9	L'écart du doublet	
4	4954,33	8	est d'environ — 0,24	
5	4955,97	7	U. A.	
6	4957,32	6		
7	4959,03	5		
8	4960,47	4		
9	4961,77	3		
10	4962,97	2		
11	4964,22	1		
Bande B				
15	4992,23	1,5	Phénomène anormal.	??
16	4995,13	1	L'écart du doublet est d'environ — 0,12 U. A.	
Bande C				
18	5000,71	6	Phénomène normal.	??
19	5003,74	5,5	L'écart du doublet	
20	5006,71	5	est d'environ — 0,24	
21	5009,54	4,5	U. A.	
22	5012,29	4		
23	5015,08	3,5		

Fluorure de baryum. — Les bandes du fluorure de baryum que j'ai étudiées se trouvent dans le bleu ; il n'y en a qu'une qui soit intense, c'est la bande A. Les photographies ont été pénibles à faire à cause

du peu d'éclat de la flamme. Le tableau de la page 239 donne les résultats obtenus ; cette fois les bandes et les composantes sont dégradées vers le rouge.

Les écarts des doublets trouvés sont plus petits que les précédents ; il ne faut pas s'en étonner, car les longueurs d'onde sont plus petites que dans le cas du calcium et du strontium ; en outre, il ne paraît pas y avoir de relation à établir entre ce spectre et les précédents, puisque la texture des bandes n'est plus la même.

Chlorure de baryum. — Pour ce corps comme pour le précédent, les photographies ont été difficiles. En observant visuellement avec un oculaire les modifications éprouvées par le spectre sous l'influence du champ magnétique, on a eu les résultats suivants dont quelques-uns sont naturellement moins certains que ceux donnés par les photographies : on trouve d'abord les bandes M et P constituées par des composantes dégradées vers le rouge, tandis que les bandes mêmes sont dégradées vers le violet ; à cause de l'enchevêtrement de ces deux bandes il est difficile de voir nettement comment se comporte la bande M sous l'action du champ ; on rencontre ensuite en allant vers le rouge une bande faible ($\lambda = 5166,08$), qui paraît donner le phénomène de Zeeman longitudinal anormal ainsi que les bandes $\lambda = 5192,16$ et $\lambda = 5241,50$ (bande Q) ; tandis que les bandes $\lambda = 5168,17$ très peu intense et $\lambda = 5244,30$ (bande R) semblent donner le phénomène normal ; il faut remarquer en passant que les composantes des bandes Q et R sont très serrées, ce qui rend encore plus difficile l'observation du phénomène de Zeeman.

On trouvera à la page 241 le tableau des résultats obtenus.

En résumé, il est établi que les composantes des bandes d'émission des fluorures et chlorures alcalino-terreux volatilisés dans la flamme présentent le phénomène de Zeeman aussi bien dans le sens des lignes de force que perpendiculairement au champ. Dans le premier cas, certaines de ces bandes donnent le phénomène normal, d'autres au contraire montrent le phénomène longitudinal anormal. Perpendiculairement au champ, toutes les composantes des bandes sensibles au champ donnent des doublets ou des quadruplets normaux ou anormaux.

*Résultats de l'étude du phénomène de Zeeman sur certaines bandes
du spectre d'émission du chlorure de baryum.*

Numéros d'ordre arbitraire	Longueur d'onde en U. A.	Intensité	Observation	Observation	Remarque
			faite parallèlement au champ (ramenée à H = 10 000)	faite perpendiculairement au champ (ramenée à H = 10 000)	

Bande M.

13'	5118,62	1,4	Paraît donner le phénomène anormal.	Paraît donner un doublet symé- trique.	
12'	5120,07	1,7			
11'	5121,40	2			
10'	5122,86	2,3	??	??	
9'	5124,20	2,6			
8'	5125,58	2,9			
7'	5126,93	3,2			
6'	5128,30	3,5			
5'	5129,69	3,8			
4'	5131,02	4,1			
3'	5132,30	4,4			
2'	5133,65	4,7			
1'	5134,90	5			

Bande P.

18	5117,05	4,8	Phénomène anor- mal.	Chaque com- posante donne un quadruplet presque symé- trique, qui se- rait inverse et dont les dou- blets sont d'en- viron 0,26 U. A.	
17	5118,45	5,1			
16	5119,83	5,4	L'écart du dou- blet est d'envi- ron — 0,26 U. A.		
15	5121,17	5,8			
14	5122,43	6,1			
13	5123,73	6,4			
12	5125,12	6,7			
11	5126,38	7			
10	5127,66	7,3			
9	5129,04	7,6			
8	5130,34	7,9			
7	5131,67	8,2			
6	5132,89	8,5			
5	5134,12	8,8			
4	5135,35	9,1			
3	5136,59	9,4			
2	5137,81	9,7			
1	5139,07	10			

Bande Q.

1	5239,92	0,5	Phénomène anor- mal.	??	Résultat de l'ob- servation visuelle seule.
3	5240,45	1			
2	5240,95	1,5	??		
1	5241,50	2			

Bande R.

4	5242,84	0,5	Phénomène nor- mal	??	id.
3	5243,29	1			
2	5243,76	1,5	??		
1	5244,30	2			

Si l'on veut essayer de rapprocher entre elles les bandes de ces différents spectres, il convient d'abord de grouper ensemble les composés du calcium et du strontium, ceux du baryum restant à part. En effet, si l'on se limite aux bandes étudiées dans ce mémoire en détail, celles qui sont relatives aux deux premiers corps sont dégradées vers le violet, tandis que pour les composés du baryum c'est l'inverse. En outre, le type de la formule des fréquences des composantes d'une bande est $N = A - (C + Bm)^2$ pour les sels de calcium et de strontium, tandis qu'il est $N = A + (C - Bm)^2$ pour le fluorure de baryum et $N = A + (Bm + C)^2$ pour le chlorure de baryum (A, B, C sont positifs, pour $m = 0$ on obtient la fréquence de la composante la plus intense de la bande).

Il y a lieu d'espérer que l'existence du phénomène de Zeeman pour toutes ces bandes permettra de trouver des liens nouveaux entre elles et de faciliter l'étude très compliquée de leurs rapports avec la composition chimique, par exemple, du corps qui les émet.

IV. — ÉTUDE DU SPECTRE DU FLUORURE DE SILICIUM.

On a étudié de la même façon l'action d'un champ magnétique sur le beau spectre du fluorure de silicium dans les tubes de Geissler. On s'est limité à la recherche du phénomène de Zeeman longitudinal pour les bandes d'émission de ce corps.

Tube de Geissler employé. — Remarquons d'abord qu'il faut faire passer la décharge dans le tube parallèlement aux lignes de force si l'on veut éviter les phénomènes accessoires gênants constatés par M. Chautard, puis M. Cotton ⁽¹⁾, quand le tube de Geissler a sa partie capillaire perpendiculaire au champ. Mais cela ne suffit pas, car la plus grande difficulté qu'on rencontre quand on veut étudier le phénomène de Zeeman longitudinal sur le spectre d'un gaz renfermé dans un tube de Geissler est de mettre la source de lumière *tout entière* dans le champ magnétique : en effet, si une portion lumineuse du tube n'est pas dans le champ, elle donne le spectre ordinaire de la substance, et on obtient sur la plaque photographique le mélange du spectre ordinaire et du spectre modifié par le champ : comme on ne peut obtenir entre pièces polaires percées, avec les

⁽¹⁾ A. COTTON, *le Phénomène de Zeeman*, p. 31.

électro-aimants ordinaires, un champ considérable, l'effet Zeeman est petit, et dans ces conditions il passe inaperçu.

Dans le cas particulier du fluorure de silicium, il y a une autre difficulté : le gaz se décompose sous l'influence de la décharge et le tube se vide presque complètement. Il suffit pour éviter cela d'opérer comme Capstik⁽¹⁾ et Gehlhoff⁽²⁾, c'est-à-dire de faire entrer de temps en temps du gaz neuf dans le tube ou de faire traverser le tube à décharge par un lent courant de gaz à la pression convenable. Enfin, pour éviter que les dépôts produits par la décomposition du gaz rendent opaque la paroi transparente du tube au travers de laquelle la lumière doit passer, il faut qu'elle soit le plus loin possible de la région lumineuse du gaz.

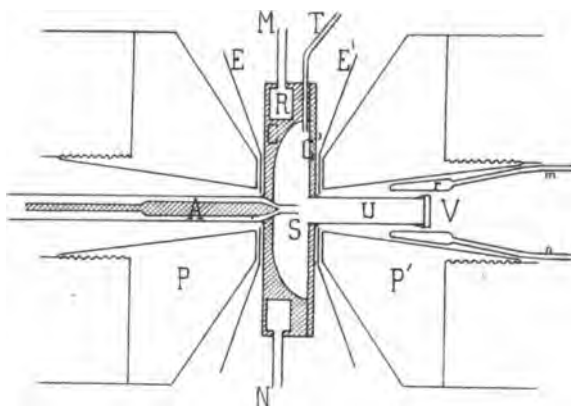


FIG. 4.

Le tube que j'ai employé, dans un entrefer de 12,8 millimètres entre les pièces polaires, est représenté ci-dessus par la *fig. 4*. Les parois en sont constituées par les pièces suivantes, en allant de gauche à droite : un tube de verre contenant l'anode en aluminium A, une cuvette C recouverte du couvercle C', tous deux en aluminium aussi et un tube de verre U fermé par une plaque de glace non trempée V ; les joints des différentes parties du récipient ainsi constitué sont faits en mastic golaz⁽³⁾.

(1) CAPSTICK, *Proc. Roy. Soc.*, **63**-356-1898.

(2) GEHLHOFF, *Annalen der Physik*, **24**-553-1907.

(3) Sous l'action de la décharge qui le traverse, le tube de Geissler s'échauffe ; de même, la température de l'électro-aimant qui supporte le tube s'élève beau-

La source lumineuse est constituée par la partie capillaire S, tout entière dans le champ magnétique; la cathode est la cuvette C; afin de ne pas avoir de lumière réfléchie par l'anode A, celle-ci est taillée en pointe à son extrémité voisine de S; enfin la lumière émise est utilisée dans la direction SV; elle passe donc dans l'axe des noyaux de l'électro-aimant dont on voit les pièces polaires en P, P'. Deux chapeaux en ébonite E et E' empêchent le contact du tube et de l'électro-aimant.

Le gaz neuf arrive par le petit tube d'aluminium T et s'en va par le tube de verre contenant l'anode et relié à la pompe; un manomètre à mercure donne la pression du gaz à son arrivée au tube T et un autre manomètre à mercure est placé entre le tube A et la pompe. L'admission du gaz est commandée par un robinet non figuré sur le dessin, et un autre robinet permet de régler l'action de la pompe Géryck qui fait le vide; on ouvre convenablement ces deux robinets, de manière que le gaz circule constamment dans le tube où passe la décharge et que la pression s'y maintienne égale à quelques millimètres de mercure, opération rendue très facile par l'existence des deux manomètres.

Spectre du fluorure de silicium. — Quand on illumine un pareil tube par la décharge ordinaire d'une bobine d'induction, on obtient une lumière bleue assez éclatante et qui, vue au spectroscopé, donne un spectre de bandes magnifiques. Les bandes sont formées de composantes à structure très complexe, dégradées vers l'extrémité rouge du spectre et constituées en général par une arête à bord net du côté du violet, accompagnée du côté du rouge par un fond continu où l'on voit pour quelques-unes d'entre elles une raie sombre ressemblant à une raie d'absorption, puis, en allant encore du côté du rouge, ce fond devient discontinu tout en diminuant d'intensité; quant aux bandes elles-mêmes, formées de plusieurs des composantes précé-

coup par suite du passage prolongé du courant qui traverse les bobines. Pour ces deux raisons, il est nécessaire de protéger contre l'échauffement par contact ou par rayonnement tous les joints faits au mastic golaz et qui doivent tenir le vide. A cet effet, la cuvette C est creusée, dans son épaisseur, d'une couronne R dans laquelle circule constamment un courant d'eau qui arrive, sous la forme de gouttes séparées, par le tube M et sort sous la même forme par le tube N. De même on protège le masticage de la plaque de verre V sur le tube U contre le rayonnement de l'électro-aimant par un petit réfrigérant (r) alimenté par les tubes (m) et (n) et dans lequel circule un courant d'eau permanent.

dentes, elles sont dégradées dans le même sens, c'est-à-dire que l'intensité des composantes diminue en allant vers le rouge.

Phénomène de Zeeman longitudinal. — La *fig. 5* reproduit une partie de ce spectre quand le champ magnétique est créé ($H = 10900$) et que l'analyseur bicirculaire est en place. On y peut voir que certaines composantes présentent le phénomène longitudinal anormal, tandis que d'autres donnent le phénomène normal dont la raie du mercure fixe le sens. Le tableau suivant page 246 donne l'ensemble des résultats.

Les mesures approximatives faites pour ces composantes relativement au phénomène de Zeeman, jointes aux observations suggérées par l'aspect général du spectre, ont permis de classer très facilement les composantes les plus intenses en trois bandes, désignées dans le tableau par les lettres X, Y et Z.

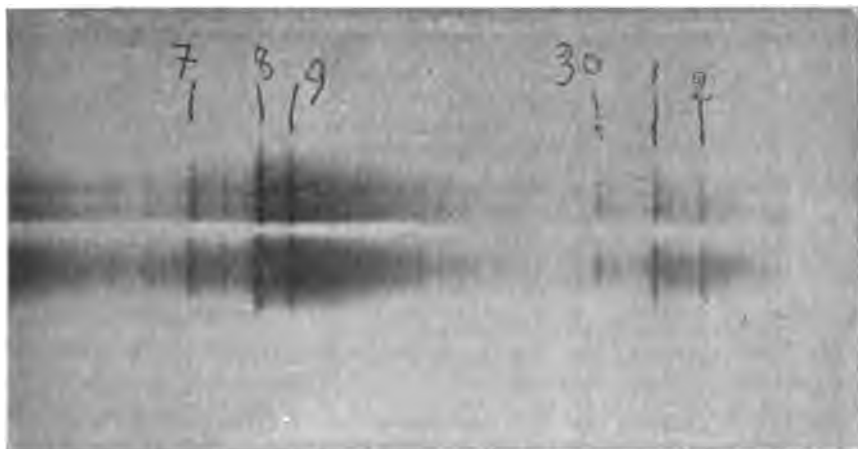


FIG. 5. — Phénomène de Zeeman longitudinal présenté par le spectre du fluorure de silicium dans les tubes de Geissler. (De $\lambda = 4465$ à gauche à $\lambda = 4540$ à droite.) Les composantes 29, 32 de la bande X sont normales; les composantes 28, 31 de la bande Z et 27, 30 de la bande Y donnent le phénomène de Zeeman longitudinal anormal ($H = 10900$).

Pour la bande X, dont les fréquences ⁽¹⁾ sont données d'une manière assez satisfaisante par la formule $N = 24577,7 - (1,848m + 41,072)^2$,

⁽¹⁾ On a pris les inverses des longueurs d'onde dans l'air, sans les ramener à ce qu'elles seraient dans le vide, ce qui aurait été plus correct.

le phénomène de Zeeman longitudinal est normal et la valeur approximative des doublets des composantes est de $+ 0,20$ U. A. pour un champ de 10 000 gauss.

La bande Y représentée par $N = 25481,7 - (1,576m + 51,92)$ donne un phénomène anormal de valeur moyenne $- 0,10$ U. A. dans les mêmes conditions.

Enfin la bande Z correspondant à $N = 24177,1 - (1,953m + 38,12)$ se comporte comme la précédente et la valeur moyenne des doublets obtenus est de $- 0,15$ U. A. pour le même champ de 10 000 unités.

Résultats de l'étude du phénomène de Zeeman longitudinal sur les bandes du spectre d'émission du fluorure de silicium dans les tubes de Geissler.

Numéro d'ordre arbitraire	Longueur d'onde en U. A.	Intensité	Nature du phénomène observé	Valeur approximative du doublet pour un champ de 10 000 unités	Classement des composantes des bandes
4	4240,81	4	Normal	$+ 0,17$ U.A.	
5	4270,19	3	Anormal	$- 0,11$	
6	4271,53	5	Normal	$+ 0,15$	
7	4295,71	2	Anormal	??	
8	4298,85	1	id.	??	
9	4301,29	4	id.	$- 0,13$	
10	4304,21	6	Normal	$+ 0,15$	
11	4329,44	3	Nul	0	
12	4333,96	5	Anormal	$- 0,10$	
13	4338,17	4	Normal	$+ 0,17$	
14	4353,91	1	Nul	0	
15	4358,38	10	Normal	$+ 0,34$	Raie du mercure.
16	4365,40	3	id.	??	
17	4368,34	18	id.	$+ 0,19$	X
18	4388,66	6	Anormal	$- 0,11$	Y
19	4398,38	15	Normal	$+ 0,19$	X
20	4400,63	20	Anormal	$- 0,13$	Z
21	4420,99	5	id.	$- 0,09$	Y
22	4429,90	10	Normal	$+ 0,18$	X
23	4430,35	13	Anormal	$- 0,11$	Z
24	4454,61	4	id.	$- 0,08$	Y
25	4462,05	10	id.	$- 0,16$	Z
26	4463,27	7	Normal	$+ 0,20$	X
27	4489,71	3	Anormal	$- 0,11$	Y
28	4495,83	8	id.	$- 0,18$	Z
29	4498,66	6	Normal	$+ 0,20$	X
30	4526,50	1	Anormal	$- 0,10$	Y
31	4531,70	3	id.	$- 0,18$	Z
32	4535,99	2	Normal	??	X
33	4565,05	0,5	Anormal	??	Y
34	4569,53	1	id.	??	Z
35	4575,21	0,5	??	??	X

Il faut remarquer qu'il existe encore des composantes moins

intenses que les précédentes et que je n'ai pas groupées en bandes, ainsi que deux raies $\lambda = 4128,06$ et $\lambda = 4130,87$ qui paraissent appartenir au silicium et qui donnent le phénomène normal.

V. — ÉTUDE DU SECOND SPECTRE DE L'HYDROGÈNE.

Tous les spectres étudiés jusqu'à présent sont des spectres dus à des corps composés, comme M. Cotton et moi ⁽¹⁾ l'avions fait remarquer au cours de ces recherches. Il y avait lieu de se demander, puisque ces spectres appartiennent à des molécules, si l'on ne pourrait trouver des spectres dus à des molécules de corps simples cette fois, et où l'on rencontrerait ce même phénomène anormal. L'expérience a répondu affirmativement pour le second spectre de l'hydrogène ⁽²⁾, qui, ainsi que je l'ai montré ⁽³⁾, appartient bien à l'hydrogène et caractérise sans doute sa molécule.

Tube de Geissler employé. — La *fig. 6* représente le tube dont je me suis servi, l'entrefer étant de 11,4 millimètres entre les pièces polaires; on y retrouve les parties essentielles de celui qui a servi pour le fluorure de silicium avec les simplifications suivantes :

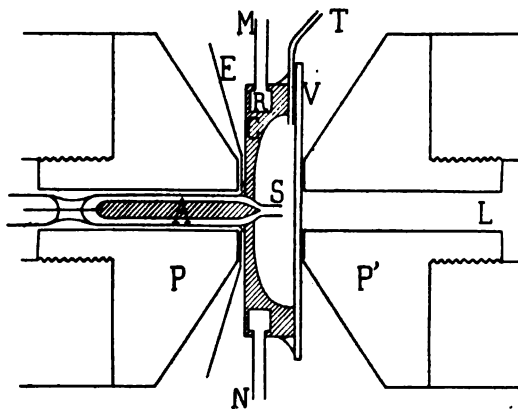


FIG. 6.

comme on n'a pas plus à craindre ici les dépôts dus au gaz, la plaque de verre V a pris la place du couvercle d'aluminium C' de la *fig. 4*;

(1) A. DUFOUR, *C. R.*, 146-234-1908.

(2) A. DUFOUR, *C. R.*, 146-634-1908.

(3) A. DUFOUR, *Thèse*, 1906; *Ann. de Ch. et de Phys.*, 8^e série, 9-361-1907.

le courant de gaz permanent n'étant plus indispensable, on a scellé dans le verre le fil de platine qui porte l'anode A ; l'hydrogène préparé par diffusion au rouge au travers d'un osmo-régulateur en platine arrive par le tube T ; c'est par ce même tube d'ailleurs qu'on fait le vide.

Résultats de l'étude du phénomène de Zeeman longitudinal sur les raies du second spectre de l'hydrogène dans les tubes de Geissler (de $\lambda = 4340$ à $\lambda = 4765$).

Numéro d'ordre arbitraire	Longueur d'onde en U. A.	Intensité	Nature du phénomène observé	Valeur approximative du doublet pour un champ de 10 000 unités	Observations
30	4340,29	10	Normal	??	Raie du premier spectre.
31	4358,29	10	id.	+ 0,28 U. A.	Raie du mercure.
32	4379,43	3	Nul	0	
33	4384,51	3	Normal	+ 0,06	
34	4390,94	3	Nul	0	
35	4398,19	4	Anormal	— 0,03	Phénomène très petit.
36	4412,31	6	Normal	+ 0,11	
37	4414,26	4	Nul	0	
38	4415,06	2	Normal	+ 0,09	
39	4417,38	5	id.	+ 0,05	
40	4422,74	2	id.	??	
41	4445,30	4	id.	+ 0,08	
42	4447,59	4	id.	+ 0,09	
43	4456,67	7	Nul	0	
44	4458,80	5	Normal	+ 0,02	
45	4461,02	6	id.	+ 0,16	
46	4467,19	3	Nul	0	
47	4474,31	2	Normal	??	
48	4486,15	2	id.	??	
49	4487,83	5	id.	+ 0,18	
50	4490,48	5	id.	+ 0,05	
51	4498,14	5	id.	+ 0,20	
52	4498,58	5	Nul	0	
53	4502,02	6	id.	0	
54	4505,70	7	id.	0	
55	4514,48	5	id.	0	
56	4520,04	4	Anormal	— 0,03	Phénomène très petit.
ε	4523,29	2	id.	— 0,06	Un peu nuageuse.
57	4524,22	3	Normal	+ 0,09	
φ	4532,03	3	Anormal	— 0,03	
58	4534,64	5	Nul	0	
59	4538,37	4	Normal	+ 0,14	
60	4539,21	4	id.	??	Floue.
61	4543,73	5	Nul	0	
62	4551,00	7	id.	0	
ρ	4558,31	4	Anormal	— 0,09	Fine et nette.

Numéro d'ordre arbitraire	Longueur d'onde en U. A.	Intensité	Nature du phénomène observé	Valeur approximative du doublet pour un champ de 10 000 unités	Observations
65	4563,71	5	Nul	0 U. A.	
66	4568,14	8	id.	0	
1	4575,82	5	id.	0	
2	4577,99	4	id.	0	
3	4579,43	4	id.	0	
4	4579,98	8	id.	0	
5	4581,51	3	Normal	+ 0,14	
6	4582,56	6	Nul	0	
7	4598,47	2	Normal	+ 0,19	Diffuse.
8	4607,42	3	id.	??	
9	4618,30	5	id.	+ 0,06	
10	4625,33	4	id.	+ 0,17	
11	4627,99	6	id.	+ 0,12	
12	4631,46	5	id.	+ 0,15	
13	4631,86	7	id.	+ 0,18	
14	4634,03	8	Normal	+ 0,13	
15	4634,61	6	id.	+ 0,09	
16	4645,37	1	Nul	0	
α	4653,03	4	Anormal	— 0,12	Phénomène anormal net.
17	4661,42	2	Nul	0	
18	4662,83	4	id.	0	
19	4665,63	2	id.	0	
β	4667,14	1	Anormal	— 0,09	
20	4671,32	5	Nul	0	
γ	4673,14	1	Anormal	— 0,11	Phénomène anormal net.
21	4679,12	3	Nul	0	
22	4682,37	3	id.	0	
23	4683,86	5	id.	0	
24	4690,24	3	id.	0	
δ	4692,11	1	Anormal	— 0,14	Floue ; phénomène anormal net.
25	4709,57	2	Normal	??	
26	4719,06	4	id.	+ 0,05	
27	4723,05	5	id.	+ 0,10	
28	4764,39	2	Nul	0	

Phénomène de Zeeman longitudinal. — J'avais déjà signalé quelques raies jaunes et vertes de ce second spectre, qui présentent le phénomène de Zeeman, mais je ne les avais étudiées à ce point de vue qu'avec la lumière émise perpendiculairement au champ.

Ici, au contraire, je n'ai étudié que le phénomène de Zeeman longitudinal soit visuellement à l'oculaire dans la partie du spectre où l'œil est sensible, soit à l'aide de la photographie dans le bleu et le violet, en recherchant surtout les raies anormales. J'ai naturellement retrouvé toutes les raies que j'avais déjà signalées

comme sensibles au champ magnétique, mais dans cette région du spectre elles ont paru toutes présenter le phénomène de Zeeman longitudinal normal, sauf une, la raie $\lambda = 5778$ qui est anormale, l'écart du doublet étant faible; tout près d'elle, on trouve la raie $\lambda = 5784,4$ qui donne le phénomène normal. Je n'ai pas fait de photographie dans cette région. Le tableau de la page 248 donne l'ensemble des résultats obtenus dans le bleu et le violet.

On voit d'après ce tableau qu'on doit partager ces raies en trois groupes : le premier formé des raies qui donnent le phénomène normal, elles sont nombreuses; le second renferme des raies insensibles au champ ou du moins qui ont paru telles dans le faible champ atteint ($H = 11\,700$); enfin le troisième constitué de raies qui présentent le phénomène longitudinal anormal, et qui sont à la vérité peu nombreuses et peu intenses, sauf les raies α et ρ . Je n'ai pas trouvé de relation entre leurs fréquences; d'ailleurs la structure du second spectre de l'hydrogène apparaît comme fort compliquée, et on n'a pas encore pu y grouper les raies d'une manière systématique. Ici encore, l'étude du phénomène de Zeeman étendue à tout le second spectre de l'hydrogène permettra sans aucun doute de faciliter la recherche de ces groupements.

VI. — RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Les principaux résultats nouveaux établis dans le présent travail peuvent être résumés ainsi :

1° On a d'abord étudié au point de vue de l'action du champ magnétique les bandes des spectres d'émission des fluorures et chlorures alcalino-terreux volatilisés dans la flamme. On sait que ces bandes sont formées d'un certain nombre de composantes dégradées d'un certain côté variable avec le corps considéré, et dont les fréquences vérifient la formule spéciale aux bandes $N = A \pm (C \pm Bm)^2$ établie par M. Deslandres.

Parmi ces bandes, il y en a dont les composantes présentent le phénomène de Zeeman aussi bien dans la direction des lignes de force que perpendiculairement au champ; les écarts des doublets sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus d'ordinaire pour les raies; les mêmes résultats s'observent aussi sur les composantes des bandes renversées, quand ce renversement est possible. Les me-

sures approximatives que j'ai faites semblent indiquer que toutes les composantes d'une même bande se comportent de la même manière dans le champ magnétique ; de nouvelles mesures plus précises seront faites ultérieurement pour fixer ce point.

2° Le phénomène de Zeeman longitudinal qu'on observe pour les bandes de ces corps est tantôt normal, tantôt anormal, le phénomène normal étant caractérisé par la règle suivante bien connue : le sens de rotation de la vibration accélérée du doublet magnétique est le même que celui des courants d'Ampère relatifs au champ. Il n'y a aucun doute sur l'existence simultanée de ces deux phénomènes pour ces bandes d'émission, puisqu'on les obtient souvent à la fois et en même temps sur le même cliché. Les composantes qui présentent le phénomène de Zeeman longitudinal normal donnent des doublets magnétiques dont les polarisations circulaires sont complètes et qu'on peut par conséquent complètement séparer à l'aide d'un analyseur bicirculaire ; au contraire, celles qui donnent le phénomène longitudinal anormal fournissent des doublets à polarisations circulaires incomplètes ; ces deux résultats ont été constatés sans doute possible pour les bandes D, D', D'' du fluorure de calcium.

3° Quand l'observation du phénomène de Zeeman est faite avec la lumière émise perpendiculairement aux lignes de force, on voit chaque composante des bandes précédentes se transformer de manière à donner, pour l'ensemble des deux directions possibles de vibration, soit des quadruplets normaux comme la bande (*h*) du chlorure de strontium, soit des doublets symétriques, c'est le cas le plus fréquent, soit enfin des quadruplets inverses, fait qui est intéressant à cause de sa rareté et dont la bande D'' du fluorure de calcium donne un exemple. Des tableaux numériques et des photographies précisent les résultats obtenus.

4° On a étudié aussi le spectre du fluorure de silicium dans un tube de Geissler au double point de vue de sa constitution spectroscopique et de la façon dont il se modifie dans le champ magnétique, mais seulement pour le phénomène de Zeeman longitudinal. Après avoir décrit le tube de Geissler parcouru par un courant permanent du gaz étudié et qui, grâce à sa construction spéciale m'a permis de ne donner à la partie lumineuse du gaz qu'une longueur de quelques millimètres et de la placer tout entière dans le champ magnétique, j'indique les résultats obtenus.

J'ai pu classer les composantes les plus intenses de ce spectre,

toutes dégradées vers le rouge, en trois bandes dégradées aussi vers le rouge, dont je donne les longueurs d'onde dans l'air ainsi que les formules des fréquences qui leur appartiennent : le phénomène de Zeeman longitudinal présenté par les composantes de l'une de ces bandes est normal, tandis que pour les deux autres il est anormal, les valeurs des écarts des doublets magnétiques n'étant pas les mêmes pour les différentes bandes. Un tableau de nombres et une photographie fixent les résultats.

5° Enfin j'ai retrouvé les exemples précédents donnés par les bandes des spectres des corps *composés* pour les raies du second spectre de l'hydrogène dans un tube de Geissler, spectre que j'avais été conduit à attribuer à la molécule de l'hydrogène. Les observations faites parallèlement aux lignes de force ont complété mes recherches antérieures et montré que les raies se partagent en trois groupes : les unes donnent le phénomène normal, d'autres sont insensibles au champ ; enfin un troisième groupe (α , β) est formé de raies qui présentent le phénomène de Zeeman longitudinal anormal.

En résumé, si l'on s'en tient aux résultats obtenus jusqu'ici, il semble bien que le phénomène de Zeeman longitudinal anormal ne se présente, soit pour les spectres d'émission que j'ai étudiés, soit pour les spectres d'absorption des terres rares, que dans les spectres de *molécules*.

Un moyen simple d'expliquer les faits serait de supposer, comme le fait M. Jean Becquerel, l'existence des électrons négatifs et des électrons positifs : les bandes et les raies donnant le phénomène normal seraient émises par des électrons négatifs ; les autres par des électrons positifs. Comme les écarts des doublets obtenus dans tous les cas, sauf pour des bandes du xénothime, sont assez voisins, il faudrait supposer que ces électrons ont des valeurs du même ordre pour leur rapport e/m de la charge à la masse. Les bandes dont les doublets magnétiques ne montrent pas une polarisation circulaire complète seraient émises à la fois par des électrons négatifs et par des électrons positifs ayant le même e/m . Cette hypothèse aura évidemment plus de poids s'il existe dans les tubes à vide des électrons positifs analogues aux électrons négatifs connus, comme vient de l'annoncer M. Jean Becquerel⁽¹⁾ ; si cette découverte est établie d'une manière

⁽¹⁾ J. BECQUEREL, *C. R.*, **146**, n° 25, 22 juin 1908, p. 1308, et **147**, n° 2, 13 juillet 1908, p. 121. — *Le Radium*, 5-195, juillet 1908.

irréfutable⁽¹⁾, il y aura peut-être lieu de tenir compte des électrons positifs dans les théories du phénomène de Zeeman.

Cependant dans cette voie, une difficulté au moins se présenterait : comment se fait-il que *toutes* les raies des séries, et ceci sans exception connue, donnent le phénomène de Zeeman longitudinal normal? Elles sont donc dues uniquement à des électrons négatifs; il y aurait là une différence de propriétés difficile à admettre entre des électrons qui ne se distingueraient les uns des autres que par le signe de leur charge.

Or, ce n'est que dans les spectres émis par une *molécule* vibrante qu'on a constaté actuellement des phénomènes de Zeeman anormaux suivant les lignes de force. Puisque, dans la théorie des électrons, les raies nous imposent les électrons négatifs, on peut se demander si, malgré les apparences, on ne doit pas attribuer les bandes et raies qui fournissent un phénomène anormal à ces mêmes électrons négatifs, vibrant cette fois, non plus suivant des trajectoires probablement assez simples dans l'atome, mais sous l'action de forces très complexes dues à tous les atomes dont la molécule est constituée et parcourant alors des orbites compliquées. Il serait d'ailleurs particulièrement difficile de préciser.

Que la considération des électrons positifs arrive ou non à s'imposer, une explication quelconque du phénomène de Zeeman devra rendre compte en particulier des faits suivants : on ne connaît pas de raies de séries donnant le phénomène anormal suivant les lignes de force; il y a des raies insensibles au champ magnétique; les composantes des bandes, dégradées d'un certain côté, des corps étudiés ici sont sensibles au champ magnétique, sans donner de triplet pur, pendant que d'autres bandes formées de composantes fines ne subissent pas de modification; enfin celles des bandes qui donnent le phénomène de Zeeman longitudinal anormal fournissent des doublets dont la polarisation circulaire est incomplète.

(1) Il faudrait pour cela déterminer d'une manière directe et certaine le signe de la charge de ces électrons et en outre mesurer au moins approximativement leur e/m .

ÉLECTROMÈTRE ABSOLU A TORSION ;

Par M. E. SALMON ⁽¹⁾.

Cet appareil permet d'effectuer des mesures absolues depuis une vingtaine de volts jusqu'à 40 000 volts et au delà avec des plateaux suffisamment grands.

L'électromètre se compose (*fig. 1 et 2*) de deux plateaux métalliques, parallèles et verticaux, disposés dans une cage en verre ; A, percé d'une ouverture circulaire, sert d'anneau de garde, et B, muni d'un manche en verre, peut subir des déplacements parallèles mesurés avec un sphéromètre S couché horizontalement. Un léger disque circulaire *a*, en aluminium, s'engage exactement dans l'ouverture du plateau A. Ce disque est supporté par une aiguille, en forme de croix, dont les branches sont maintenues horizontales par des contre-poids, et qui est suspendue par un fil d'argent que l'on peut tordre avec la garniture métallique d'une balance de Coulomb.

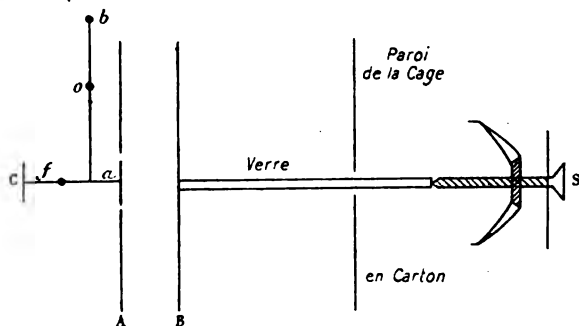


FIG. 1.

La course du disque est limitée par des fils de cocons tendus sur la surface interne du plateau A et par un fil de platine *f* qui vient heurter une plaque de verre *c* avec coïncidence de l'extrémité du fil avec son image.

L'anneau de garde A communique directement avec le sol. D'autre part, un fil de platine, enroulé sur l'aiguille, s'applique sur le disque et soutient un autre fil de platine vertical qui plonge dans un godet G

(¹) Séance du 3 juillet 1908.

contenant de l'eau acidulée, reliée au sol. Les potentiels de l'anneau de garde et du disque sont donc toujours nuls ; B est porté au potentiel v que l'on veut mesurer par une borne (1) isolée.

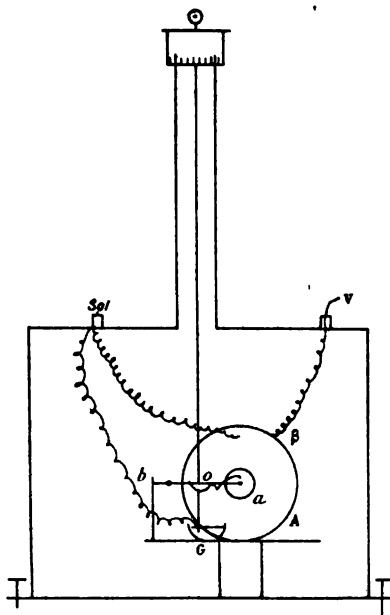


FIG. 2.

Formule de l'appareil. — La formule de l'appareil est celle de l'électromètre absolu de Thomson :

$$v = e \sqrt{\frac{8\pi F}{S}}.$$

La force F , à l'extrémité de l'aiguille, centre du disque, est proportionnelle à l'angle de torsion α , et l'on peut écrire, pour les mesures relatives :

$$(1) \quad v = Ae \sqrt{\alpha}.$$

Champ de l'appareil. — *Vérification de la loi de Coulomb.* — La formule précédente n'est rigoureusement vraie que pour des plateaux de rayons infinis.

Les plateaux de l'appareil ont 12 centimètres de diamètre. Il faut donc chercher, tout d'abord, quelle est la distance limite des pla-

teaux à laquelle on peut appliquer la formule, en restant au-dessous des erreurs d'expériences.

Pour cela, on porte B au potentiel de 120 volts du courant de la ville, potentiel sensiblement constant, dans la journée, et l'on corrige, par la formule, pour les faibles écarts, lus sur un voltmètre.

En donnant au plateau B des déplacements égaux, on a la série :

$$\begin{aligned} 120 &= Ae \sqrt{\alpha}, \\ 120 &= A(e + d_1) \sqrt{\alpha_1}, \\ 120 &= A(e + 2d_1) \sqrt{\alpha_2}, \text{ etc. ;} \end{aligned}$$

d'où l'on tire :

$$\frac{\sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_1}} - 1}{d_1} = \frac{\sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_2}} - 1}{2d_1} = \text{etc.} = C^{\text{te}}.$$

Pour montrer la nature des résultats, on a choisi, dans une série, l'expérience suivante faite avec un fil d'argent de $\left(\frac{1}{50}\right)$ de millimètre de diamètre et en donnant au plateau B des déplacements égaux $d_1 = 2$ millimètres.

L'angle de torsion α_5 correspond à la distance des plateaux AB, $e = 1^{\text{cm}}, 8$:

$$\begin{aligned} \alpha &= 798^\circ \\ \alpha_1 &= 338^\circ \\ \alpha_2 &= 185^\circ \\ \alpha_3 &= 115^\circ \\ \alpha_4 &= 82^\circ \\ \alpha_5 &= 58^\circ; \end{aligned}$$

on déduit de là :

$$\begin{aligned} \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_1}} - 1 &= 0,53 \\ \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_2}} - 1 &= 0,53 \\ \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_3}} - 1 &= 0,54 \\ \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_4}} - 1 &= 0,53 \\ \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_5}} - 1 &= 0,54. \end{aligned}$$

A une distance plus grande, les torsions deviennent trop faibles et les erreurs relatives trop grandes.

En remarquant que les déplacements du plateau B, mesurés au sphéromètre, peuvent être considérés comme obtenus sans erreurs et que les torsions se mesurent à une division près, le calcul montre que l'erreur absolue est $\frac{1}{100}$.

Les nombres obtenus montrent donc que l'on peut déplacer B jusqu'à 2 centimètres de A, en conservant un champ électrique uniforme. On verra plus loin que l'on peut aller jusqu'à 3 centimètres.

On peut, enfin, considérer les résultats de ces expériences préliminaires comme une vérification de la loi de Coulomb dont la formule de l'appareil est une conséquence.

Mesures relatives. — PREMIER CAS. — Le potentiel que l'on veut mesurer a une valeur voisine de 120 volts.

On porte B au potentiel que l'on veut connaître v , et l'on mesure l'angle de torsion qui équilibre la force électrique :

$$V = Ae \sqrt{\alpha}.$$

On porte B au potentiel connu 120 volts :

$$120 = Ae \sqrt{\alpha'};$$

donc :

$$\frac{V}{120} = \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha'}}.$$

DEUXIÈME CAS. — Le potentiel à mesurer est beaucoup plus élevé que 120 volts.

On porte B au potentiel inconnu v :

$$V = Ae \sqrt{\alpha}.$$

On rapproche B de A, en mesurant le déplacement d_1 , et on le porte au potentiel 120 volts :

$$120 = A(e - d_1) \sqrt{\alpha_1}.$$

On donne à B un nouveau déplacement d_2 vers A, en le laissant au potentiel 120 volts :

$$120 = A(e - d_2) \sqrt{\alpha_2}.$$

Entre ces trois équations, on élimine A et e :

$$(2) \quad V = 120 \frac{1 - \frac{d_1}{d_2} \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2}}}{\sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2}} \left\{ 1 - \frac{d_1}{d_2} \right\}}$$

On citera, comme exemple, le potentiel d'une bouteille de Leyde chargée avec une petite bobine de Ruhmkorff.

L'aiguille était suspendue à un fil d'argent de $\left(\frac{1}{10}\right)$ de millimètre de diamètre.

Le plateau B étant à 1^{cm},7 de A et communiquant avec l'armature interne de la bouteille, il a fallu une torsion de 62° pour maintenir l'aiguille en équilibre sur le plateau A.

On a déplacé B vers A de 1^{cm},5, après l'avoir porté à 120 volts; l'équilibre a été obtenu avec une torsion de 27°.

Pour le déplacement de 1^{cm},6, la torsion a été de 79°.

En remplaçant dans la formule (2), on trouve :

$$V = 1\,344 \text{ volts.}$$

L'erreur relative calculée est $\frac{1}{80}$; le potentiel 1 344 volts est déterminé à 18 volts près.

Mesures absolues. — La formule de l'appareil peut s'écrire :

$$(3) \quad V = \frac{e}{r} \sqrt{\gamma \cdot \varphi \cdot \alpha}.$$

e, distance des plateaux;

r, rayon du disque :

$$r = 1^{\text{cm}},21;$$

φ, force de torsion, sur le centre du disque, pour une torsion de 1°.

La mesure de e se fait au sphéromètre, après avoir mis les deux plateaux en contact. La mesure est facilitée par ce fait que le plateau B est mobile dans tous les sens, ce qui permet de l'appliquer exactement sur A. On peut ainsi obtenir e avec une erreur absolue de $\frac{1}{5}$ de millimètre.

$2r$, le diamètre du disque, se mesure au Palmer, qui donne une erreur absolue de $\frac{1}{400}$ de millimètre.

φ , la force de torsion pour 1° , s'obtient de la façon suivante, en remarquant que, pendant la torsion, le poids tenseur du fil maintient le centre de l'aiguille immobile.

On suspend à un long fil de cocon une masse connue m , annulaire quel'on centre sur le centre du disque. On vise le disque avec une lunette; puis on tord le fil de suspension. On ramène ensuite la visée en déplaçant le point de suspension du fil avec une vis micrométrique.

Soit : d , le déplacement du point de suspension; β , l'angle de torsion; l , la longueur du fil; mg , le poids en dynes :

$$\varphi = \frac{1}{\beta} \frac{d}{l} \cdot mg.$$

PREMIÈRE MESURE. — Avec un fil d'argent de $\left(\frac{1}{10}\right)$ de millimètre de diamètre et une masse $m = 0^{\text{gr}},2$, donnant $0,2 \times 981$ dynes, il a fallu, pour une torsion $\beta = 230^\circ$, un déplacement $d = 1^{\text{cm}},80$, $l = 67^{\text{cm}},7$:

$$\varphi_1 = 0,0209;$$

pour une torsion de 260° , $d = 2^{\text{cm}},60$:

$$\varphi_2 = 0,0210$$

avec une erreur absolue de $\frac{1}{200}$.

On place ensuite B à $1^{\text{cm}},7$ de A et on le met en communication avec une bouteille de Leyde, chargée par la petite bobine de Ruhmkorff; pour maintenir le disque en équilibre, il faut une torsion de 62° .

Donc :

$$V = \frac{1,7}{1,21} \sqrt{8 \cdot 0,0210 \times 62}.$$

$$V = 4,52 \text{ C. G. S.}$$

$$V = 1\,356 \text{ volts.}$$

On a trouvé pour la même expérience, en appliquant la for-

mule (1) :

$$V = 1.344 \text{ volts}$$

avec une erreur relative de $\frac{1}{80}$.

Les deux résultats sont donc concordants.

On aurait une précision plus grande en prenant un fil de suspension plus fin.

DEUXIÈME MESURE. — On suspend l'aiguille à un fil de $\left(\frac{1}{20}\right)$ de millimètre de diamètre.

La mesure de φ a donné les nombres suivants :

$$\begin{array}{lll} \beta = 720^\circ, & d = 1^{\text{cm}}, 55, & \varphi_1 = 0,00154. \\ \beta = 408^\circ, & d = 2^{\text{cm}}, 30, & \varphi_2 = 0,00156. \end{array}$$

Il est alors facile de s'assurer que l'on peut, dans les mesures, prendre un écart de 3 centimètres pour les deux plateaux.

En effet, la bouteille de Leyde étant chargée avec la petite bobine de Ruhmkorff, actionnée par un primaire d'intensité constante lue sur un ampèremètre, on place le plateau B à 3 centimètres de A, et on observe une torsion d'équilibre de 343° ; à une distance de 2 centimètres, la torsion d'équilibre est de 720° .

La formule (3) donne :

$$\begin{array}{lll} V_1 = 5,02 \text{ C. G. S.} & \text{ou} & 1.506 \text{ volts,} \\ V_2 = 5,09 \text{ C. G. S.} & \text{ou} & 1.527 \text{ volts.} \end{array}$$

L'erreur relative calculée est $\frac{1}{100}$.

On pourra donc, dans la suite, placer le plateau B à 3 centimètres de A.

TROISIÈME MESURE. — Pour comparer les formules (2) et (3), on a laissé le fil de $\left(\frac{1}{20}\right)$ de millimètre de diamètre et on a fait les expériences suivantes. Le plateau B étant à 3 centimètres de A, chargé avec la petite bouteille de Leyde et la bobine, on a trouvé pour la torsion d'équilibre 257° . Après déplacement de C vers A de $2^{\text{cm}}, 4$ on charge B à 120 volts; la torsion d'équilibre est de 40° . Pour un déplacement de $2^{\text{cm}}, 6$, B étant toujours au potentiel de 120 volts, la torsion d'équilibre est 310° .

La formule (2) donne :

$$V_1 = 1.308 \text{ volts.}$$

La formule (3) :

$$V_2 = 1.320 \text{ volts,}$$

la différence est inférieure à l'erreur calculée.

QUATRIÈME MESURE. — L'aiguille est suspendue à un fil d'argent de $\left(\frac{3}{10}\right)$ de millimètre de diamètre. On mesure la force de torsion avec une masse $m = 6^{\text{r}},92$ suspendue à un fil de cocon de $82^{\text{cm}},4$, et l'on trouve, pour une torsion de 130° , un déplacement de $1^{\text{cm}},85$. Par suite :

$$\varphi = 1,18.$$

On a fait alors communiquer B, placé à 3 centimètres de A, avec une bouteille de Leyde chargée par une petite machine électrique.

La torsion d'équilibre a été de 310° .

En partant de la formule (3) :

$$V = 39.900 \text{ volts}$$

avec une erreur relative de $\frac{1}{100}$.

Dans ces dernières expériences, il est nécessaire de maintenir l'aiguille par un arrêt b qui empêche le disque de sortir de l'ouverture circulaire de A.

Dans le modèle exposé à la Société de Physique, toutes les pièces sont mobiles, la cage s'ouvre en avant et en arrière. Il est donc facile de changer les fils de suspension et de placer les poids tenseurs convenables.

Conclusion. — Cet appareil permet de mesurer des potentiels très élevés avec une erreur relative inférieure à $\frac{1}{100}$.

En prenant des plateaux de diamètres convenables, il n'y a dans les mesures d'autre limite que la distance explosible des plateaux.

Il peut être, sans difficulté, manié par des mains inexpérimentées.

APPAREILS POUR LA MESURE DE LA RADIOACTIVITÉ, D'APRÈS LA MÉTHODE ÉLECTROSCOPIQUE ⁽¹⁾;

Par MM. C. CHÉNEVEAU et A. LABORDE.

I. La méthode de mesure de la radioactivité la plus précise est la méthode électrométrique ⁽²⁾; la méthode la plus rapide est, sans contredit, la méthode électroscopique.

Les meilleures applications de l'électroscope à feuille d'or à la détermination de la radioactivité ont été faites d'abord par Pierre Curie ⁽³⁾, puis par M. C.-T.-R. Wilson ⁽⁴⁾. Ces deux savants augmentèrent, en effet, la sensibilité de l'appareil, le premier en rendant la lecture de la déviation de la feuille plus précise par l'emploi d'un microscope à micromètre oculaire, le second en diminuant le plus possible la capacité.

Divers autres appareils furent également créés ayant pour but spécial, ou bien de mesurer des activités extrêmement faibles telles que celle de l'atmosphère, ou bien d'opérer commodément sur les gaz dégagés spontanément au griffon des sources thermales ou extraits des eaux minérales.

Bien que nous ne puissions faire en ce court exposé l'historique de cette importante question, il nous paraît intéressant de rappeler ici l'électroscope d'Exner ⁽⁵⁾, avec lequel MM. Elster et Geitel ⁽⁶⁾ firent la plus grande partie de leurs belles recherches sur la radioactivité de l'air atmosphérique, ainsi que les appareils de Schmidt ⁽⁷⁾ et de Sieveking ⁽⁸⁾, pour l'étude rapide des eaux naturelles et des gaz radioactifs.

L'un de nous a déjà fait construire par la Société centrale de Produits chimiques, d'après les indications de Curie, un modèle commode d'électroscope ⁽⁹⁾. Nous avons pensé qu'il serait intéressant

(1) Séance du 20 novembre 1908.

(2) Pierre CURIE, *Œuvres*, p. 375; M^{me} S. CURIE, *Ann. Ch. Phys.*, septembre, octobre, novembre 1903; — C. CHÉNEVEAU, *le Radium*, n° 6, p. 181; 15 décembre 1904.

(3) Pierre CURIE, *Œuvres*, p. 591, 1908.

(4) C.-T.-R. WILSON, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, XII, 2^e partie; 1903.

(5) EXNER. — Voir ELSTER et GEITEL.

(6) ELSTER et GEITEL. — Voir C.-T.-R. WILSON, *Proc. Roy. Soc.*, LXVIII, p. 452; 1901; — RUTHERFORD, *Radioactivity (Phys. Series, Cambridge; Phys. Zeit., 1905, p. 2)*.

(7) SCHMIDT, *Phys. Zeit.*, 561; 15 septembre 1905.

(8) SIEVEKING, *Phys. Zeit.*, 700; octobre 1905.

(9) Pierre CURIE, *Œuvres*, p. 593; 1908.

d'appliquer cette nouvelle forme de l'appareil à la réalisation d'instruments de mesure dont les avantages pratiques puissent permettre à n'importe quel physicien ou chimiste d'obtenir aisément, au laboratoire ou sur le terrain, la valeur de la radioactivité d'un corps, quelle qu'en soit la nature. Ce sont ces appareils que nous allons décrire.

II. Les mesures radioactives peuvent s'adresser à des corps solides, gazeux ou liquides. Quand ces corps sont placés dans le champ électrique d'un électroscope chargé, cet appareil se décharge sous l'effet de la conductibilité acquise par l'air soumis aux rayonnements de la substance radioactive.

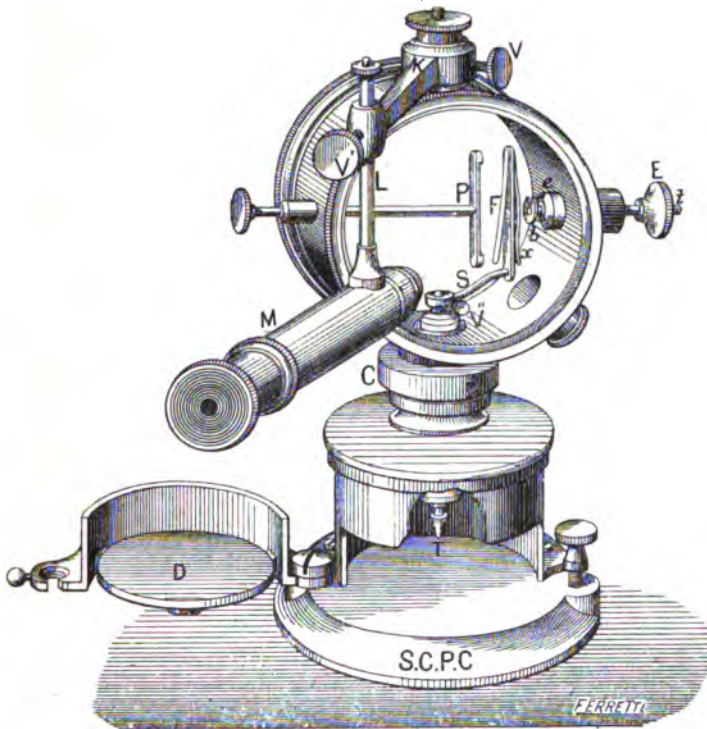


FIG. 1.

L'électroscope (*fig. 1 et 2*) est constitué par une cage métallique, en forme de section de tube, limitée par deux glaces de verre à faces parallèles.

A la partie inférieure se visse un col métallique C dans lequel est mastiquée l'ambroïde destinée à isoler électriquement la feuille d'aluminium. L'ambroïde porte dans ce but une tige métallique qui la traverse de part en part. Cette tige métallique se termine à la partie supérieure, dans la cage de l'électroscope, par une pièce cylindrique sur laquelle une vis de serrage V" permet de fixer le support S de la feuille d'aluminium F ; et, à la partie inférieure, par un filetage sur lequel se vissent les diverses tiges de déperditions appropriées aux différents appareils de mesure. La cage de l'électroscope est donc complètement fermée et peut être d'ailleurs desséchée à l'aide d'un tube latéral démontable D (*fig. 2*) contenant de l'anhydride phosphorique ou du sodium. La feuille d'aluminium ne communique métalliquement avec l'extérieur que par la tige isolée dans l'axe de l'ambroïde. Ce dispositif entraîne nécessairement deux surfaces de fuite le long de l'isolant. Nous l'avons pourtant adopté afin que l'électroscope reste complètement à l'abri des poussières radio-actives et que, seuls, les appareils accessoires soient exposés à acquérir une radioactivité gênante.

La feuille d'aluminium peut être chargée électriquement à l'aide d'une tige métallique *t* traversant la paroi de la cage de l'électroscope dont elle est isolée par de l'ébonite (¹). Cette tige peut tourner autour de son axe et coulisser dans l'ébonite suivant son axe ; elle porte, à l'intérieur de la cage, une petite plaque métallique *b*, excentrée, que l'on peut amener en contact, soit, pour la charge, avec un petit ressort *x* fixé sur le support de la feuille d'aluminium, soit, après la charge, avec la cage de l'électroscope en calant l'excentrique *b* contre un ergot *e* réuni à la cage. Les phénomènes d'influence pouvant provenir du chargeur sont donc ainsi évités.

Les mouvements de la feuille d'aluminium sont observés, comme dans les anciens électroscopes Curie, au moyen d'un microscope M muni d'un micromètre oculaire. Le support K du microscope est fixé sur la cage de l'électroscope, à la partie supérieure, au moyen d'une bague commandée par une vis de serrage V ; à l'extrémité du support K est adaptée la tige qui porte le tube de coulisse du microscope ; cette tige peut glisser et tourner dans son logement et y est

(¹) Une source d'électricité quelconque à haut potentiel (pile, accumulateur, bouteille de Leyde, etc.) peut être employée. Le plus commode est encore d'approcher contre la tige *t* un petit bâton d'ambroïde électrisé par frottement sur du drap.

fixée par un bouton à vis V' dans une position quelconque. Un tel dispositif permet de donner au microscope, placé dans sa coulisse, une orientation quelconque par rapport à la cage de l'électroscope,

Comme il est nécessaire, pour l'accord précis des mesures comparatives, que la position du microscope soit toujours la même, nous avons établi un repérage exact de cette position : dans ce but, la vis V vient serrer dans un logement pratiqué dans la monture, définissant ainsi la position du support K.

Pour fixer l'orientation du microscope, une fine croix de repère a été gravée sur la glace antérieure de la cage, et cette glace est elle-même repérée par rapport à la monture métallique ; quand le microscope vise alors cette croix de repère sur le point 100 du micromètre, il est sensiblement normal aux glaces de l'appareil, et il peut être immobilisé dans cette position par le serrage d'une vis V'.

La pièce porte-ambroïde est filetée à la partie inférieure et permet de visser l'électroscope sur un appareil de déperdition quelconque (1).

Enfin la feuille d'aluminium peut être calée, pour le transport, par une pièce métallique P, convenablement disposée à l'intérieur de la cage et manœuvrée de l'extérieur par une tige couissant dans la paroi de l'appareil.

III. *Pour l'étude des corps solides*, on place l'électroscope sur une cage métallique (fig. 4) ; la tige de déperdition T, assez courte, plonge dans cette cage, qui renferme à la partie inférieure un plateau D sur lequel peuvent se placer des disques métalliques de différents diamètres, destinés à supporter la matière active étudiée. Ces disques s'introduisent aisément dans l'appareil au moyen d'une porte assez haute pratiquée dans la paroi cylindrique et dont la seule manœuvre permet de placer le disque dans l'appareil ou hors de l'appareil (2). Ce dispositif évite la chute de matières actives dans la cage.

Le champ électrique ainsi produit entre tige et plateau n'est pas évidemment aussi simple que celui obtenu entre deux plateaux paral-

(1) Nous devons signaler que, dans un modèle plus récent, nous avons modifié ce dispositif pour que la partie inférieure de la pièce porte-ambroïde entre à frottement dans le col de l'appareil de déperdition, le raccord et l'immobilisation de l'électroscope se faisant à l'aide d'une bague de serrage filetée assez large.

(2) Il est nécessaire, pour faire de bonnes mesures, d'employer les corps réduits en poudre ; notre appareil permet cependant d'opérer sur des fragments de minéral assez gros, ainsi que peut l'exiger une première expérience grossière faite sur le terrain.

lèles. Il est néanmoins aisé de voir que, du moment que le champ électrique garde la même forme, sa complexité n'empêche nullement de faire des mesures tout à fait comparables.

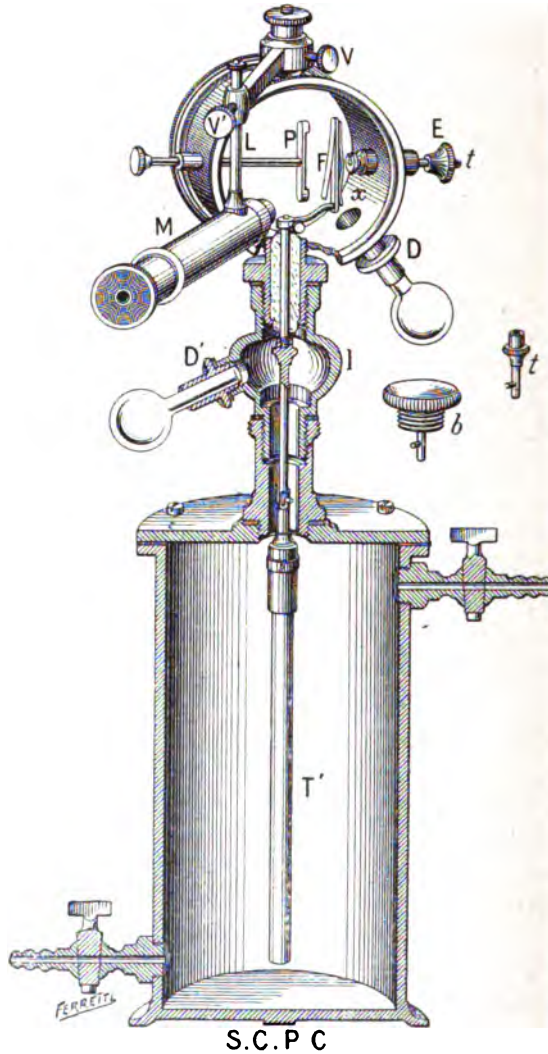


FIG. 2.

IV. Pour l'étude des gaz radioactifs, l'électroscope se place (fig. 2) sur le col d'un cylindre de cuivre fermé aux deux extrémités et muni

de robinets métalliques qui permettent l'introduction des gaz radioactifs.

Sur la tige de l'électroscope est, dans ce cas, vissée une tige *t* qui soutient, par un raccord à baïonnette, une tige de déperdition *T* constituant dans le condensateur cylindrique une armature isolée.

Ces cylindres étant destinés à recevoir des gaz qui doivent parfois y séjourner un temps prolongé et y subir plusieurs mesures successives, il a paru utile de prévoir un bouchage de ces cylindres permettant d'enlever l'électroscope de l'appareil après une mesure sans que le gaz contenu dans l'appareil puisse s'en échapper. Un tel bouchage a été réalisé en ajustant dans le col de l'appareil un bouchon métallique cylindrique qui porte à la partie inférieure la tige cylindrique *T'* et qui se raccorde à la tige de l'électroscope par un dispositif à baïonnette. En examinant la *fig. 2*, on conçoit en effet que, d'après les dimensions de l'appareil, le bouchon obture encore le col, alors que l'électroscope est déjà fixé sur l'appareil et que lorsque cette fixation est définitive, le bouchon se trouve dégagé et la tige de déperdition isolée.

Quand l'électroscope a été enlevé d'un cylindre renfermant des gaz radioactifs, le cylindre doit être aussitôt bouché hermétiquement avec un bouchon à vis *b* et, au cours de cette manœuvre, grâce à l'exiguité du volume du col où se fait l'obturation, il ne sort pas du cylindre $1/1\,000$ du gaz étudié ; nous nous en sommes assuré expérimentalement.

Bien qu'il soit préférable de n'introduire dans ces cylindres que des gaz secs, nous avons prévu que certains observateurs pourraient introduire directement de l'eau dans les cylindres de mesure.

Dans ces conditions, il est bon de protéger l'isolant contre l'humidité en vissant entre l'électroscope et le cylindre une boîte *I* renfermant un corps desséchant quelconque contenu dans l'ampoule de verre *D*.

Enfin, lorsqu'on étudie des corps très actifs, le cylindre peut s'activer, et il nous a semblé nécessaire de construire nos cylindres avec couvercle démontable, afin de donner facilement accès à l'intérieur et de permettre un lavage superficiel à l'acide nitrique ou un grattage. C'est d'ailleurs une idée générale qui nous a guidés dans la construction de ces appareils de les rendre complètement démontables pour les nettoyer convenablement et de supprimer le plus

possible la déperdition électrique propre de l'appareil. Tous les joints nécessités par ces différents montages tiennent d'ailleurs convenablement le vide.

V. Avant de procéder à une mesure de radioactivité, il faut déterminer la *fuite spontanée* de l'appareil, due à une légère conductibilité superficielle de l'isolant et à une faible ionisation possible de l'air de l'appareil de mesure. Cette perte de charge, comme toute déperdition, se mesurera en mettant un compte-secondes en marche au moment du passage de la feuille d'aluminium devant une division du micromètre et en arrêtant le compte-secondes quand la feuille atteindra une autre division. On observe ainsi que la feuille a parcouru un chemin d pendant un temps t et la vitesse de chute v mesurée par le quotient $\frac{d}{t}$ et exprimée en divisions du micromètre par seconde, mesurera la fuite propre de l'appareil.

Nous estimons que, pour se trouver dans de bonnes conditions, c'est-à-dire pour que les résultats d'une mesure soient réellement démonstratifs, il faut que cette fuite spontanée ne soit pas supérieure au dixième de la vitesse de chute mesurant le phénomène étudié.

VI. Pour mesurer l'activité d'un corps solide, on le répand uniformément à la surface du plateau D de l'appareil (*fig. 1*). On mesure la déperdition de l'appareil sous l'influence du produit étudié. Puis on fait une expérience analogue avec un disque de même surface recouvert d'oxyde noir d'uranium.

Dans les deux cas, il faut retrancher des vitesses de chute obtenues celle due à la fuite spontanée de l'appareil.

On dit alors que le produit mesuré a une activité de 1, 2, 3, quand la déperdition obtenue, toutes corrections faites, sera 1, 2, 3 fois plus grande que celle produite par l'oxyde d'uranium.

Ces mesures ne sont que comparatives ; elles peuvent différer d'un modèle d'électroscope à un autre, parce que l'ionisation produite par les diverses substances radioactives et le pouvoir de pénétration des divers rayonnements émis par ces corps ne sont pas les mêmes.

Quand il s'agira du *radium*, des mesures quantitatives très précises pourront être faites grâce aux propriétés de l'émanation du radium ; nous en reparlerons plus loin.

VII. Les *gaz* à étudier peuvent provenir, soit de l'atmosphère, soit du sol, soit du griffon d'une source d'eau minérale. Ils peuvent

encore avoir été extraits par ébullition ou par barbotage d'une eau dont on veut connaître la radioactivité.

On introduit dans un cylindre bien sec un volume connu du gaz desséché au préalable et débarrassé des poussières par un passage sur l'anhydride phosphorique, puis sur un tampon d'ouate. L'introduction des gaz dans l'appareil est une opération facile si l'on a fait un vide partiel dans le cylindre de mesure à l'aide d'une trompe à eau ou d'une pompe à main.

La pression dans le cylindre étant amenée à la pression atmosphérique, la vitesse de déperdition de l'électroscope mesurera la radioactivité du gaz.

Si cette radioactivité est due à de l'émanation du radium, il est possible d'exprimer quantitativement la teneur du gaz en émanation. Pour unité de quantité d'émanation, nous avons pris le *milligramme-minute*, c'est-à-dire la quantité d'émanation que peut fournir 1 milligramme de bromure de radium pur en 1 minute (Curie et Laborde)⁽¹⁾.

Pour étalonner l'appareil, on introduit dans le cylindre une quantité connue d'émanation du radium⁽²⁾ et on mesure la déperdition de l'électroscope, *trois heures après l'introduction de l'émanation*⁽³⁾. Cette mesure permet de calculer que, dans ces conditions, une vitesse de chute de la feuille d'aluminium de 1 division du micromètre par seconde correspond à l'introduction de n milligrammes minutes d'émanation du radium dans l'appareil.

Si l'on introduit alors une quantité x d'émanation, seule ou mélangée avec un gaz, et si v est la vitesse de chute au bout de trois heures on aura :

$$x = nv.$$

(Si v est exprimée en divisions du micromètre par seconde, x est exprimée en milligrammes-minutes.)

Mais on ne dispose pas toujours de solution titrée de bromure de

(1) CURIE et LABORDE (*C. R.*, t. CXXXVIII, p. 1150 : 1904). — Cette unité est pratique, eu égard aux quantités d'émanation contenues dans les gaz des sources thermales. L'unité absolue serait le gramme-seconde de radium.

(2) La quantité d'émanation émise par une solution d'un sel de radium est donnée par la formule :

$$E = \frac{Q}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}),$$

où L = poids de RaBr_2 , $\lambda = 1.205 \cdot 10^{-4}$, si t est exprimé en minutes.

(3) Voir sur la mesure des gaz radioactifs, P. CURIE et A. LABORDE (*C. R.*, CXXXVIII, p. 1150, 1904; CXLII, p. 1162, 1906); A. LABORDE (*le Radium*, n° 1, p. 1, 1904; n° 2, p. 386, 1905).

radium. D'autre part, comme la vitesse de chute de la feuille d'aluminium, produite par une quantité donnée d'émanation, ne serait pas la même pour des feuilles d'aluminium de sensibilités différentes, nous avons déterminé expérimentalement que 0,34 milligramme-minute introduits dans le cylindre provoquent, trois heures après leur introduction, une vitesse de chute V de la feuille égale à celle que produit le disque d'oxyde d'uranium dans l'appareil à solides.

Si l'on introduit une quantité x d'émanation dans le cylindre et si la feuille d'aluminium tombe avec une vitesse v , la quantité x sera donnée par la relation :

$$x = 0,34 \frac{v}{V} \text{ (1).}$$

Lorsqu'un cylindre est ainsi étalonné, il permet de déterminer non seulement la teneur d'un gaz en émanation, mais encore la richesse d'un minerai en radium : en effet, il suffit de mettre un poids déterminé du minerai en solution par des traitements chimiques appropriés (2), puis de laisser s'accumuler en vase clos l'émanation que peut émettre la solution pendant un temps connu. La loi suivant laquelle s'accumule l'émanation permet de calculer le poids de radium qui l'a produite (3).

VIII. La radioactivité des *eaux* est due aux corps radioactifs qu'elles renferment en dissolution : émanation ou corps solides.

Les *émanations radioactives* dissoutes peuvent être étudiées par divers procédés.

1° On peut mettre directement un volume connu d'eau dans le cylindre surmonté de sa boîte desséchante et de l'électroscope ;

2° On peut réunir par leurs cols deux cylindres l'un au-dessus de l'autre, remplir d'eau l'un des cylindres et retourner plusieurs fois l'appareil, en laissant chaque fois l'eau du cylindre supérieur s'écouler dans le cylindre inférieur à travers le raccord ; puis séparer, finalement, les deux cylindres et placer l'électroscope muni de la boîte intermédiaire de dessiccation sur le cylindre plein d'air.

(1) La constante 0,34 est indépendante de la sensibilité de la feuille d'aluminium et reste invariable pour un électroscope, un cylindre et un appareil à solides donnés.

Déterminée, d'autre part, pour plusieurs séries d'appareils de la même fabrication, elle n'a jamais varié de plus de quelques centièmes.

(2) J.-R. STRUTT, *le Radium*, juin 1906.

(3) MACHE, ST. MEYER et E. V. SCHWEIDLER, *le Radium*, 3^e année, n° 2, février 1906. p. 39. — A. LABORDE, *loc. cit.*

Ces procédés ont l'inconvénient d'activer les cylindres de mesure dans le cas où l'eau étudiée renferme des sels radioactifs en dissolution ; ils nécessitent, de plus, que l'on tienne compte de la solubilité de l'émanation ⁽¹⁾.

Aussi le procédé le plus précis au point de vue quantitatif consiste-t-il à faire bouillir un volume connu d'eau dans un ballon muni d'un réfrigérant ascendant et à recueillir sur le mercure les gaz chassés par ébullition ; on peut aussi, pour plus de sûreté, faire barboter un peu d'air inactif dans le ballon ; à la fin de l'opération, pour entraîner tous les gaz actifs. Ces gaz sont introduits dans un cylindre de mesure et leur radioactivité se mesure comme précédemment.

Les *corps radioactifs dissous* sont reconnus en conservant l'eau radioactive en vase clos pendant un temps prolongé et en recherchant, par l'un des procédés décrits ci-dessus, si elle renferme encore une émanation.

IX. Les dimensions de nos appareils sont telles (diamètre du cylindre de déperdition, 12 centimètres ; diamètre de l'électrode centrale, 1 centimètre), que, sous une charge d'environ 300 volts, le courant de saturation est obtenu, à 1 ou 2 0/0 près, pour les plus forts courants pratiquement mesurables.

Nous mentionnons ci-dessous les constantes principales de nos appareils. Mais auparavant il convient d'observer que ces constantes sont calculées en prenant pour limite des faibles courants mesurables ceux qui sont dix fois plus forts que la fuite spontanée de l'appareil. Or, certains auteurs, tels que M. Strutt, qui surent tirer d'un électroscope le maximum de sensibilité possible, estiment (voir *le Radium*, 1906, p. 163) qu'une mesure est démonstrative si elle est représentée par une augmentation de moitié de la fuite spontanée. Dans de semblables conditions, il faudrait attribuer à nos appareils une sensibilité dix-huit fois plus forte ; dans le tableau ci-dessous, nous n'avons pas voulu signaler comme limite pratique inférieure de sensibilité des nombres où les erreurs d'expériences peuvent devenir importantes entre les mains d'observateurs insuffisamment attentifs.

(1) Il faut alors opérer, comme MM. H. Mache et St. Meyer (*Phys. Zeit.*, 692 : octobre 1903), en mesurant la solubilité de l'émanation dans les eaux étudiées ; — TRAUBENBERG, *Phys. Zeit.*, 430 ; 1904 ; — HOFMANN, *Phys. Zeit.*, 337 ; 1905 ; — KOFER, *Phys. Zeit.*, 11, 6 ; 1908.

Les constantes principales de nos appareils sont les suivantes :

Potentiél de charge de la feuille d'aluminium correspondant à la saturation, environ	300 volts
1 division du micromètre vaut.....	0,4 volt
Capacité de l'électroscope monté sur un cylindre de 3 litres ⁽¹⁾	14 à 15 cm.
Vitesse de chute spontanée ordinaire : 0,0033 division par seconde, soit.....	0,0013 volt/sec.
Vitesse de chute minimum mesurable (10 fois plus grande que la précédente) : 0,033 division par seconde, soit	0,01 volt/sec.
Courant minimum mesurable dans le cylindre (ce courant est 60 fois plus fort que le courant que produirait l'air atmosphérique)	$2 \cdot 10^{-13}$ ampère
Quantité minimum d'émanation du radium mesurable dans le cylindre.....	$0,0019 \frac{\text{mg.}}{\text{min.}}$
Quantité minimum de bromure de radium dosable par l'émanation [cette quantité correspond à celle contenue dans 10 litres d'eau de mer ou dans 50 grammes de sables du fond de la mer (M. Joly, <i>Phil. Mag.</i> , mars et juillet 1908)]	$2,3 \cdot 10^{-7}$ mg.
Activité minimum mesurable pour les solides (l'oxyde d'uranium étant pris pour unité).....	$\frac{1}{200}$

X. Ainsi les appareils se prêtent facilement aux mesures de radio-activités de minerais et, étalonnés, permettent le dosage du radium par son émanation et l'étude de la radioactivité des eaux minérales ⁽²⁾. Nous donnerons comme exemple les résultats récents, obtenus avec

⁽¹⁾ Nous avons déterminé cette capacité en mesurant, par la méthode du quartz piézo-électrique de Curie, en unités électrostatiques, le courant de saturation i produit, dans un cylindre de dimensions identiques à celles du nôtre, par une quantité connue d'émanation du radium.

Connaissant, d'autre part, la perte de volts par seconde v de notre appareil pour la même quantité d'émanation, il était possible d'en déduire la capacité :

$$C = \frac{i}{v \times \frac{1}{300}}.$$

Pour vérifier ce résultat, nous avons encore comparé cette capacité par la méthode de lord Kelvin à une capacité étalon de M. Moulin, construite par M. Beaudoin (Voir *le Radium*, V. n° 5, p. 143 ; 1908).

Nous avons trouvé $C = 12$ centimètres (notre appareil n'ayant pas d'anneau de garde, cette mesure était peu précise). Dans un nouveau modèle, nous avons cru intéressant de réduire encore cette capacité, qui siège en grande partie dans l'ambroïde.

⁽²⁾ Un article sera publié ultérieurement à la *Revue scientifique* (C. Chêneveau et A. Laborde) dans lequel ce côté du sujet sera plus particulièrement exposé.

cet appareil par un certain nombre d'observateurs dans l'étude des eaux minérales. Ces travaux ont permis de faire rentrer dans la classification, déjà donnée par Curie et Laborde, un certain nombre de sources thermales radioactives.

Nom de la source	Date de l'ex- traction	Nombre de milligr.-minutes contenus dans 10 litres d'eau		Auteurs (1)	Conditions de la mesure
		à la source	4 jours après		
<i>La Bourboule :</i>					
Puits Choussy, 47 mètres de profondeur....	4-08	3,56	1,78	MM. A. Laborde <i>expérience inédite</i>	à Paris 2 jours après l'extraction
<i>Plombières :</i>					
Les Capucins....	8-07	2,03	1,01	A. Brochet	à la source
Vauquelin	"	0,84	0,42	C. R. Acad. des Sc., 27 janvier 1908	"
<i>Bussang :</i>					
Grande-Salmade.	4-08	1,3	0,64	A. Laborde <i>expériences inédites</i>	à la source
Demoiselles....	"	0,73	0,36		
Petite-Salmade..	"	0,66	0,33		
Marie.....	"	0,49	0,24		
Eau de la mon- tagne.....	"	0,04	0,02		
<i>Dirza (Corse) :</i>					
Dirza.....	12-07	0,42	0,21	A. Laborde <i>expériences inédites</i>	à Paris 6 jours envi- ron après l'extraction
Dirza Sotana....	3-08	0,42	0,21		
Dirza Soprana...	6-08	0,28	0,14		
Dirza Corna....	10-08	0,18	0,09		
Dirza Molino....	12-08	0,16	0,08		
Piazzilaccè.....	10-08	0,06	0,03		
Paoticiola.....	10-08	0,06	0,03		
Muro.....	11-08	0,06	0,03		
<i>Uriage :</i>					
Source princi- pale.....	8-08	0,015	0,007	P. Besson C. R. Acad. des Sc., t. CXLVII, p. 848, 1908 G. Massol C. R., t. CXLVII, p. 844, 1908	à la source

XI. Si nous avons donné pour unité de quantité d'émanation, d'après P. Curie⁽²⁾, le milligramme-minute de RaBr², c'est qu'il conduit à des déterminations quantitatives absolues.

(1) M. Moureu publiera prochainement des résultats d'expériences effectuées à Luchon.

(2) P. CURIE et A. LABORDE, C. R. Ac. Sc., CXXXVIII, p. 1150; 9 mai 1904.

D'autres auteurs ont préféré caractériser une quantité d'émanation du radium par la grandeur du courant de saturation qu'elle produit sous l'effet de son seul rayonnement, c'est-à-dire en l'absence des rayonnements dus à sa radioactivité induite.

M. William Duane⁽¹⁾ a déjà fait observer avec raison que, pour une même quantité d'émanation, un tel courant variait d'un appareil de mesure à un autre, suivant la plus ou moins grande proportion de rayons qui sont absorbés par les parois de l'appareil ; il a déterminé expérimentalement les coefficients d'une loi simple :

$$I_0 = C - K \frac{S}{V},$$

qui donne la valeur du courant I_0 dû à 1 gramme-seconde d'émanation seule au moment de son introduction dans l'appareil en fonction du volume V et de la surface S de l'appareil.

Il convient donc, comme l'ont fait les premiers MM. H.-W. Schmidt et Karl Kurz⁽²⁾, de donner comme mesure d'une quantité d'émanation le courant qu'elle pourrait produire si tous ses rayons étaient absorbés dans l'air.

Cela reviendrait, indirectement, à exprimer une quantité d'émanation, car un tel courant est indépendant de l'appareil de mesure.

La détermination du courant I_0 , produit au moment précis de l'introduction de l'émanation dans l'appareil, se déduit d'ailleurs facilement de mesures faites de minute en minute après l'introduction : en effet M. William Duane a publié⁽³⁾ un tableau calculé d'après la formule de P. Curie et J. Danne⁽⁴⁾ dans lequel figurent les rapports

(1) W. DUANE, *J. de Phys.*, t. IV, 4^e série, p. 605; 1905.

(2) *Phys. Zeit.*, 1906, p. 209-224. — La loi de Duane ne s'applique peut-être pas exactement à d'aussi petits appareils que celui de ces auteurs.

(3) *Loc. cit.*

(4) Si l'on introduit de l'air chargé d'émanation du radium dans un cylindre de mesure, le courant électrique de saturation, I , que l'on peut faire passer à travers le gaz contenu dans ce récipient, croît rapidement pendant les dix premières minutes, puis plus lentement, et atteint une valeur maximum au bout de trois heures environ. P. Curie et M. Danne ont trouvé entre le courant I et le temps t une relation de la forme :

$$I = I_0 \left\{ \alpha - \beta \left[\lambda e^{-at} - \mu \left(\frac{c}{b-c} \frac{a}{a-b} e^{-bt} - \frac{b}{b-c} \frac{a}{a-c} e^{-ct} \right) \right] \right\},$$

qui comprend deux termes principaux : le premier dû à l'émanation seule et le second correspondant à l'apparition progressive de la radioactivité induite. Dans cette équation, I_0 est la valeur du courant I quand $t = 0$, c'est-à-dire représente le courant de saturation dû à l'émanation seule (P. CURIE et J. DANNE, *C. R.*, t. CXXXVIII, p. 683; 1904).

du courant I_0 aux courants successifs mesurés de minute en minute à partir de l'introduction (1).

XII. Cet appareil se prête, bien entendu, aux mesures des activités induites, en un mot à toutes les études de radioactivité.

Grâce au col qui peut être adapté sur n'importe quel appareil de mesure dont la forme et les dimensions sont variables à l'infini l'électroscope peut se transporter d'un appareil sur un autre et servir à des emplois multiples.

Nous serions heureux si notre travail, aidant à la diffusion des mesures de radioactivité, permettait d'augmenter l'étendue de nos connaissances sur un sujet aussi important dont l'étude mériterait d'être plus généralisée en France; et nous tenons, en terminant, à remercier bien sincèrement M^{me} Curie et M. Debierne des encouragements qu'ils nous ont souvent donnés.

RHÉOGRAPHE DOUBLE POUR PROJECTIONS (2) ;

Par M. HENRI ABRAHAM.

1. Je voudrais, dans cet article, donner une théorie élémentaire du rhéographe et indiquer les modifications qui lui ont été apportées dans ces dernières années avec l'active collaboration des ateliers Carpentier, dans le but d'en faire un instrument simple, et, autant que possible, sensible et correct jusqu'à des fréquences de quelques milliers de périodes par seconde.

Tel qu'il est, le rhéographe se prête particulièrement bien aux expériences de projection, parce que son cadre mobile a une inertie suffisante pour pouvoir porter un miroir relativement grand, d'environ un demi-centimètre carré de surface.

L'appareil complet est représenté par la photographie ci-dessous à peu près au cinquième de la grandeur d'exécution (fig. 1). Il se compose de deux parties indépendantes. A gauche de la figure, on voit la partie essentielle, le *rhéographe double* proprement dit; à droite, est un instrument auxiliaire, le *synchronoscope*, destiné à étaler proportionnellement au temps dans le sens vertical le mouvement vibratoire horizontal des faisceaux lumineux réfléchis par le

(1) Voici ce tableau (*loc. cit.*) :

Temps	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1,165	1,29	1,40	1,48	1,54	1,59	1,63	1,66	1,685	1,71

(2) Séance du 5 juillet 1907.

rhéographe, et à répéter périodiquement le tracé des courbes sur l'écran de projection.



FIG. 1.

2. Synchroscope. — Son principal organe est un prisme équilateral fonctionnant par réflexion totale. Ce prisme horizontal, mobile autour de son axe, est entraîné par un moteur synchrone constitué par une simple roue dentée en fer, qui tourne entre les pôles d'une paire d'électroaimants. Le prisme fait à peu près un tour par seconde. S'il était seul, il ne donnerait donc sur l'écran que trois apparitions de la courbe par tour.

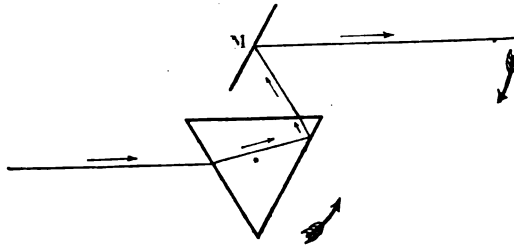


FIG. 2.

Pour multiplier les apparitions de la courbe pendant la rotation du prisme, les rayons réfléchis sont reçus successivement par quatre miroirs plans, tels que M (fig. 2), qui sont fixes, et qui, l'un après l'autre, renvoient la courbe à la même place sur l'écran. Avec les

douze apparitions par tour que donne ce dispositif, les images sont suffisamment persistantes ⁽¹⁾.

3. Principe du nouveau rhéographe. — L'organe mobile est un cadre d'aluminium ⁽²⁾, fermé sur lui-même et placé dans un champ magnétique permanent comme le cadre d'un galvanomètre d'Arsonval.

L'équation du mouvement est de la forme :

$$A \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} + C\theta = Pi.$$

Si l'on veut que le cadre mobile suive exactement les variations d'une quantité électrique X, il est nécessaire que la valeur du courant *i* qui y circule soit d'autre part reliée à cette quantité X par une équation ayant même premier membre :

$$A \frac{d^2X}{dt^2} + B \frac{dX}{dt} + C = Qi.$$

Si aucun des termes du premier membre n'était négligeable, il faudrait envoyer dans le cadre mobile la somme de trois courants respectivement proportionnels à X et à ses deux dérivées. C'est cette première solution, plus générale, mais d'une réalisation trop complexe, qui avait été adoptée pour les premiers rhéographes ⁽³⁾.

Dans les nouveaux appareils, je me suis attaché à faire en sorte que le terme d'inertie $\left(A \frac{d^2\theta}{dt^2}\right)$ ait une valeur prépondérante, les forces d'amortissement $\left(B \frac{d\theta}{dt}\right)$ et les forces directrices $(C\theta)$ étant rendues absolument négligeables ⁽⁴⁾. Ces conditions ont été réalisées en sus-

⁽¹⁾ On pourrait également employer avec le rhéographe tout autre dispositif de synchronoscope, tel qu'un miroir oscillant ou un disque tournant sur lequel sont montés plusieurs miroirs qui se succèdent; ces dispositifs ont déjà été employés par Blondel et par Fröhlich.

⁽²⁾ La substitution de l'aluminium au cuivre [pour la construction du cadre galvanométrique] augmente beaucoup la sensibilité, puisque, à résistance électrique égale, la masse à mouvoir est bien plus légère pour de l'aluminium que pour du cuivre.

⁽³⁾ *J. de Phys.*, 1897, p. 356.

⁽⁴⁾ Les oscillographes Blondel correspondent à la solution opposée, celle où la force directrice est prépondérante. Une troisième solution simple consiste à donner toute l'importance au terme d'amortissement. Mais cette solution n'est pas très avantageuse pour la pratique courante, à cause de la complication causée par l'électro-aimant, qui devient alors nécessaire pour créer le champ intense dont on a besoin; un instrument de ce genre peut cependant rendre des services pour les cas où l'on a besoin de sensibilité et où l'on ne cherche pas une grande exactitude de la forme des courbes.

pendant le cadre par un fil tendu à faible couple de torsion pour n'avoir pas trop de force directrice ; et en n'utilisant comme champ magnétique celui d'un aimant permanent pour n'avoir pas trop d'amortissement⁽¹⁾.

Dans ces conditions, les choses se simplifient beaucoup. L'appareil ne nécessite aucun réglage : il n'y a qu'à obtenir dans le cadre un courant proportionnel à $\frac{d^2X}{dt^2}$.

Pour créer ce courant, on agit sur le cadre mobile exclusivement *par induction*. A cet effet, on utilise un courant auxiliaire Y circulant dans quelques tours de fil bobinés au voisinage immédiat du cadre d'aluminium ; un noyau de fer feuilleté (*avec entrefer*) conduit le flux magnétique de ce circuit jusqu'au travers du cadre mobile. Les deux extrémités de l'enroulement fixe communiquent avec les bornes extérieures de l'appareil. Le cadre mobile et le circuit fixe forment ainsi un transformateur à induit tournant. L'appareil est représenté vu de face et vu de côté, à peu près au double de la grandeur d'exécution, sur les *fig.* 3 et 4.

Le fonctionnement de ce tout petit transformateur est différent de ce que l'on est habitué à voir se produire dans les transformateurs industriels. Tout d'abord la présence d'un entrefer notable près du cadre d'aluminium fait que le flux est pratiquement proportionnel aux ampères-tours, sans que l'hystérésis du fer ait une influence sensible ; les ampères-tours secondaires sont d'ailleurs négligeables devant les ampères-tours primaires, en raison des petites dimensions du circuit induit. La force électromotrice induite est alors proportionnelle à la dérivée du courant primaire. Enfin, la constante de temps $\frac{L}{R}$ du circuit induit étant extrêmement petite (quelques cent-millièmes de seconde), l'intensité du courant secondaire est à chaque instant proportionnelle à la force électromotrice induite.

Nous pouvons donc dire que le courant créé dans le cadre mobile est proportionnel à la dérivée par rapport au temps, $\frac{dY}{dt}$, du courant auxiliaire Y.

Le problème revient maintenant à amener de l'extérieur jus-

⁽¹⁾ Si les phénomènes à étudier sont très rapides (plus de 100 périodes par seconde), on peut placer l'équipage du rhéographe dans le champ d'un électro-aimant ; et la sensibilité se trouve aisément plus que décuplée, sans que l'on ait encore à tenir compte des forces d'amortissement.

qu'aux bornes de l'appareil un courant dont l'intensité Y soit proportionnelle à la dérivée $\frac{dX}{dt}$ de la quantité étudiée X .

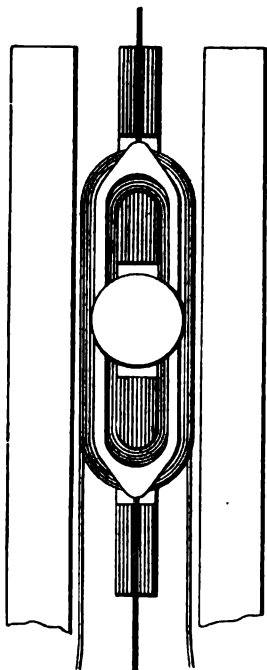


FIG. 3.

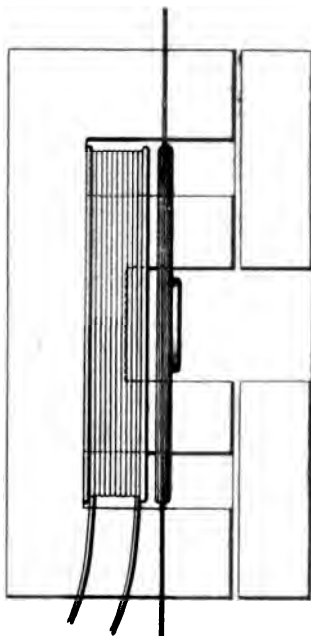


FIG. 4.

Le montage extérieur change comme nous allons le voir, selon que X est une force électromotrice, une intensité ou un flux ; mais le *rhéographe proprement dit* reste toujours le même. C'est pour cette raison que le rhéographe double est formé de deux équipages identiques installés symétriquement (voir *fig. 1*) et qui servent indifféremment pour le tracé des courbes de nature quelconque.

4. Tracé d'une courbe de tension. — Pour obtenir la courbe des variations de la tension X d'un réseau, il n'y a qu'à intercaler un condensateur entre les pôles du réseau et les bornes de l'appareil. Le courant Y qui traverse le rhéographe est alors le courant de charge du condensateur, et il est bien proportionnel à la dérivée $\frac{dX}{dt}$ de la différence de potentiel étudiée.

La *fig. 5* donne le diagramme du montage pour un rhéographe double dont le moteur synchrone est en même temps actionné par le réseau dont on veut tracer la courbe de tension.

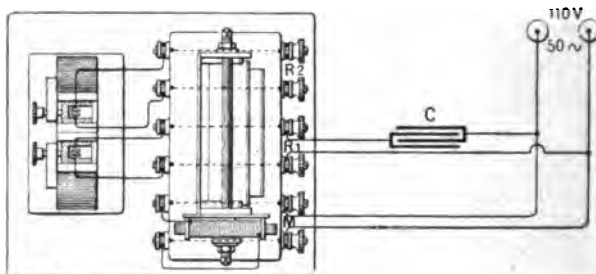


FIG. 5.

Sensibilité. — La sensibilité que l'on réalise normalement permet d'avoir, à 3 mètres de distance, une projection large d'environ 1 mètre pour un voltage alternatif efficace d'une centaine de volts, en utilisant un condensateur d'une capacité de 1 microfarad.

5. Tracé d'une courbe de courant. — Ce que l'on doit envoyer dans

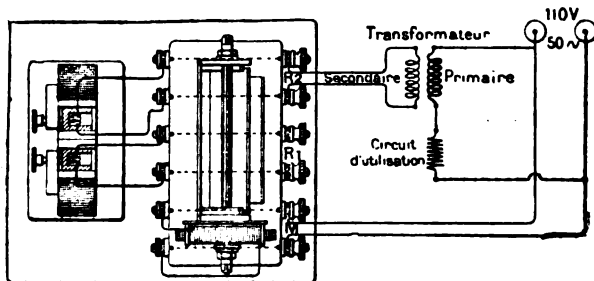


FIG. 6.

le rhéographe, c'est maintenant un courant auxiliaire Y proportionnel à la dérivée $\frac{dX}{dt}$ du courant principal X qui traverse l'appareil d'utilisation.

On utilise pour cela un petit transformateur à noyau magnétique droit, dont le circuit secondaire est relié aux bornes du rhéographe (*fig. 6*). Ce transformateur est partagé en deux moitiés identiques juxtaposées avec leurs pôles de noms contraires en regard, afin d'éviter

les effets d'induction parasites. Le mode de fonctionnement de ce petit transformateur est le même que celui du transformateur minuscule intérieur au rhéographe ; le courant secondaire Y est proportionnel à la dérivée $\frac{dX}{dt}$ du courant primaire⁽¹⁾.

Le rôle du transformateur peut être rapproché de celui d'un shunt de galvanomètre ; comme pour le cas du shunt, la grosseur du fil primaire doit être proportionnée à l'intensité du courant qui le traverse.

Sensibilité. — Le petit transformateur doit être construit de façon à satisfaire à la condition de sensibilité maxima. La self-induction du secondaire est donc égale à celle du circuit fixe du rhéographe⁽²⁾.

Pour des courants alternatifs d'une dizaine d'ampères, avec un transformateur dont le circuit primaire a une résistance ohmique de quelques centièmes d'ohms et une self-induction de quelques dix-millièmes de henry, les projections ont une largeur d'environ 1 mètre sur un écran à 3 mètres.

6. Tracé d'une courbe de flux. — Le montage extérieur se réduit à un enroulement auxiliaire placé dans le champ alternatif, et que l'on met en série avec le rhéographe.

Sensibilité. — Cet enroulement auxiliaire doit avoir même self-induction que le rhéographe pour donner la sensibilité maxima. Une courbe de 1 mètre de large sur un écran à 3 mètres représente par exemple les variations de flux dû à un champ de 100 gauss, à travers une bobine de 100 tours d'un décimètre carré de surface.

7. Théorie élémentaire du rhéographe. — Je me bornerai au cas simple où la grandeur étudiée, flux, courant, ou différence de potentiel, subit instantanément une variation finie.

Si le cadre mobile suit cette variation, c'est qu'il a été manœuvré ainsi : il a été lancé brusquement, par un choc brutal, puis, dès qu'il a tourné de l'angle voulu, il a été arrêté par un choc égal. Par quel mécanisme les circuits électriques ont-ils produit ces actions ?

Si l'on examine d'abord les montages extérieurs à l'appareil, on voit que leur rôle se ramène, dans le cas actuel, à faire passer brus-

(1) Cela cesserait assez brusquement d'être exact si les courants étaient assez forts pour amener l'aimantation des noyaux de fer au voisinage de la saturation. Aussi le transformateur est-il calculé de manière que cette intensité critique soit bien supérieure à celle que les enroulements peuvent supporter sans un échauffement prohibitif.

(2) *J. de Phys.*, 1897, p. 361.

quement dans le rhéographe une quantité d'électricité proportionnelle à la variation instantanée initiale. Cela est manifeste, par exemple, pour le tracé d'une courbe de tension, puisque, pour une variation instantanée E de cette tension, une charge CE se rend dans le condensateur à travers le rhéographe.

Que se passe-t-il maintenant dans l'appareil ? La charge n'est pas instantanée ; elle est du reste continue, et non oscillante, en raison de la résistance du circuit : pendant les quelques cent-millièmes de seconde que dure la charge, le courant, d'abord nul, croît très vite, puis décroît et s'éteint. Le flux magnétique croissant, puis décroissant, créé par ce courant, est conduit par le noyau de fer doux dans le cadre d'aluminium, où il développe deux courants induits successifs de sens contraire. C'est ce double courant induit qui, sous l'action du champ magnétique, lance le cadre, puis l'arrête l'instant d'après, alors qu'une certaine déviation est acquise.

L'arrêt doit bien être complet, parce que les deux courants induits débitent la même quantité d'électricité ; et la déviation finale doit bien être proportionnelle à la variation brusque de la cause lointaine qui l'a produite, puisque tous les courants qu'il y a eu à considérer sont proportionnels à cette variation.

Le fonctionnement du rhéographe se trouvant ainsi expliqué pour le cas d'une variation finie et instantanée de la quantité étudiée, le cas général d'une variation continue se comprend sans nouvelles explications, puisque cette variation continue peut être considérée comme une succession de variations instantanées, finies, mais très petites.

8. Emploi du rhéographe comme balistique. — On peut résumer la théorie qui précède en disant que lorsque le circuit relié au rhéographe débite brusquement une quantité finie d'électricité, le cadre mobile tourne intantanément d'un angle fini proportionnel à la quantité d'électricité débitée.

Le rhéographe est donc un galvanomètre balistique à indications instantanées.

La sensibilité de ce balistique n'est pas très grande : avec un appareil d'une quinzaine d'ohms de résistance intérieure, la déviation est d'environ 1 millimètre par microcoulomb sur une échelle à 1 mètre. Ce qui fait l'intérêt de ce balistique, c'est qu'il permet la mesure séparée de plusieurs décharges qui se succèdent à des intervalles de temps très courts.

9. **Exactitude des tracés du rhéographe.** — Les tracés du rhéographe sont corrects au degré de précision avec lequel on peut faire que la théorie de tout à l'heure représente les phénomènes. Il est bien certain que des erreurs résultent de l'existence de toutes les quantités que, l'une après l'autre, nous avons considérées comme négligeables : il faut seulement que ces erreurs ne soient pas trop grandes.

Plusieurs des approximations faites sont de même nature ; on néglige la self-induction du cadre mobile, ou celle de l'un des circuits du rhéographe : pour ne pas trop allonger cet article, je me bornerai à considérer ces causes d'erreur. Ainsi, pour le tracé d'une courbe de courant, la self-induction du rhéographe et celle du secondaire du transformateur peuvent, par exemple, avoir chacune environ 0,004 henry ; si donc on a une résistance d'une centaine d'ohms en circuit, l'effet de la self-induction ne se fait beaucoup sentir qu'au delà d'une fréquence de 2.000 périodes par seconde $\left(\frac{\omega L}{R} < 1\right)$; et l'on pourrait reculer encore cette limite en augmentant la résistance, ce qui n'aurait d'autre inconvénient que de diminuer la sensibilité ⁽¹⁾.

Au moment où la fréquence est telle que la self-induction commence à devenir sensible, on pourrait craindre que son effet fût tout de suite de modifier la forme des courbes. Heureusement il n'en est rien, et cette circonstance augmente notablement l'exactitude des tracés. Je me permettrai, en effet, de rappeler la démonstration bien simple d'un théorème qui n'est peut-être pas suffisamment connu :

THÉORÈME. — *Lorsqu'un circuit sans capacité contient une self-induction faible, l'effet de cette self-induction est, en première approximation, de mettre le courant en retard d'un temps $\frac{L}{R}$ sur la force électromotrice, mais en laissant la forme de la courbe de courant identique à ce qu'elle serait si l'on supprimait la self-induction.*

La force électromotrice est, en effet, liée à l'intensité par une relation qu'on peut écrire :

$$\frac{E}{R} = I + \frac{L}{R} \frac{dI}{dt}.$$

⁽¹⁾ Dans le cas d'une courbe de tension, on verrait de même que la self-induction n'apporte de perturbation que pour des fréquences de même ordre ; et l'on pourrait aussi augmenter l'exactitude en diminuant la capacité du condensateur en série si l'on consentait à une diminution de sensibilité.

Mais les deux termes du second nombre sont aussi les deux premiers termes de la série que l'on obtiendrait en développant suivant les puissances de $\frac{L}{R}$ la valeur que prend le courant I non pas à l'époque actuelle t , mais à l'époque ultérieure $t + \frac{L}{R}$, c'est-à-dire après que s'est écoulé le retard $\frac{L}{R}$, et cela démontre le théorème, sauf en ce qui concerne les singularités qui se produisent en des temps plus courts que $\frac{L}{R}$.

Il résulte de ce théorème que tant que, les termes correctifs dont nous parlons ne sont pas énormes, leur effet est seulement d'introduire un retard constant dans le tracé des courbes, mais sans que la forme de ces courbes soit modifiée. Ce retard, généralement sans inconvénient, est de l'ordre du dix-millième de seconde pour les appareils réalisés.

Conclusions. — En définitive, en examinant de la même manière les différentes causes d'erreur, il semble résulter de toute cette étude que les abscisses de chaque point de la courbe sont correctes à quelques cent-millièmes de seconde près, et que l'on a une exactitude du même ordre pour les ordonnées.

Des contrôles de l'exactitude des tracés ont du reste été faits, soit en traçant simultanément avec le rhéographe double une courbe de tension et la courbe correspondante du courant débité sur un circuit très peu inductif, soit en comparant des courbes tracées par le rhéographe avec celles que donnaient en même temps des oscillographes du genre des instruments de M. Blondel. Dans l'un et l'autre cas, les courbes ont été trouvées superposables au degré même de la précision des appareils.

Je ferai encore remarquer qu'en dehors de l'utilité pratique que peuvent avoir les rhéographes, ils présentent aussi un autre intérêt. Si l'on observe, en effet, que le fonctionnement de ces appareils comporte la formation successive de deux dérivées par des phénomènes électriques, puis une double intégration par un phénomène purement dynamique, on peut dire que l'exactitude des tracés rhéographiques fournit d'un seul coup, et de façon frappante, une vérification très étendue des lois fondamentales de la dynamique et de l'électromagnétisme.

BULLETIN DES SÉANCES
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

42577. PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS.
55, quai des Grands-Augustins.

BULLETIN DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE

PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

RÉSUMÉ DES COMMUNICATIONS

faites pendant l'année 1908.

PARIS,
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES,

—
1908

RÉSUMÉ DES COMMUNICATIONS

FAITES PENDANT L'ANNÉE 1908.

SÉANCE DU 17 JANVIER 1908.

PRÉSIDENTE DE M. H. LE CHATELIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 décembre 1907 est lu et adopté.

Les personnes qui ont été présentées dans la dernière séance sont élues Membres de la Société.

Les personnes dont les noms suivent sont présentées pour être Membres de la Société. Il sera statué sur leur admission dans la séance du 7 février.

- M^{lle} HUY, Répétitrice à l'Ecole normale d'enseignement primaire, à Fontenay-aux-Roses (Seine).
MM. AMADUZZI (Lavoro), Professeur à l'Institut de Physique de l'Université de Bologne (Italie).
BERTINET (André-Joseph-Emile), Professeur au Lycée Buffon, à Paris.
BROCH, Professeur au Collège de Saint-Pol.
BRODMANN, Dr Oberbibliothekar der technischen Hochschule Fridericiana, à Karlsruhe (Allemagne).
BRUÈRE (André de la), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Nantes.
FIGUIREDO (Henrique de), Professeur de Physique mathématique à l'Université de Coïmbre (Portugal).
FRITSCH (Carl), Dr Phil., Privat-docent der technischen Hochschule, à Darmstadt (Allemagne).
GALLERANI (Giovanni), Dr en Médecine et Chirurgie, Professeur de Physique et de Physiologie à l'Université de Camerino (Italie).
GARZON Y CARMONA (Aurelie), Dr ès sciences physiques, à Madrid (Espagne).
HABER (Fritz), Dr Phil. Ordenslicher, Professor für physikalische Chemie, technische Hochschule, Karlsruhe in Baden (Allemagne).
KÖNIG (Wasser), Professeur de Physique, à Giessen (Allemagne).
LANDRY (Jean), Ingénieur, Professeur d'Electricité industrielle à l'Université de Lausanne (Suisse).
PFLÜGER (Alexandre), Professeur Docteur, à l'Université de Bonn (Allemagne).
PRYTZ (Peter-Kristian), Professeur à l'Ecole Polytechnique de Copenhague (Danemark).
REYEZ CALVO (Antonio), Licencié ès sciences physiques, à Madrid (Espagne).
SAINT-CYR (Auguste), Professeur agrégé au Lycée de Beauvais.
STANOIEVITCH, Professeur à l'Université de Belgrade (Serbie).
SZARYASSI (Arthur), Dr, Privat-docent adjoint, deutsche-technische Hochschule, à Brunn (Autriche).
VERNIER (Camille), Professeur de Physique au Collège de Moissac.

MM. Henri BECQUEREL et J.-J. THOMSON, nommés Membres honoraires, adressent leurs remerciements à la Société.

M. le PRÉSIDENT déclare le scrutin ouvert pour la nomination du vice-président, du vice-secrétaire et pour le renouvellement partiel du Bureau.

M. le PRÉSIDENT proclame le résultat du vote. Sont élus :

BUREAU.

Vice-Président : M. BRILLOUIN, Professeur au Collège de France.

Vice-Secrétaire : M. BLOCH (E.).

Sont élus Membres du Conseil pour une période de trois années (1908-1910) :

Membres résidents :

MM. DEBIERNE,
Capitaine FERRIÉ,
MOUTON,
SACERDOTE.

Membres non résidents :

MM. HERMSALECH (Manchester),
LUMIÈRE (Louis) (Lyon),
MOREAU (Rennes),
ZEEMAN (Amsterdam).

M. LE CHATELIER, , Président sortant, prononce l'allocution suivante :

« Messieurs,

» En quittant la présidence permettez-moi de vous adresser tous mes remerciements pour le grand honneur que vous m'avez fait. La Société française de Physique est la plus vivante de nos Sociétés scientifiques, on doit se montrer fier d'avoir obtenu le suffrage de ses membres.

» Bien qu'approchant de la quarantaine, notre Société est toujours jeune, elle continue d'année en année à croître et à se développer. Elle a recruté cette année 117 nouveaux Membres; en soustrayant de ce nombre 31 départs par démissions ou décès, il reste une augmentation effective de 86 Membres. Leur nombre total s'élève, au commencement de l'année 1908, au chiffre respectable de 1428. Cette prospérité est due au zèle de notre Secrétaire général, M. Abraham, et à celui de ses prédécesseurs; on ne saurait trop rappeler, en toute occasion, leur dévouement incessant aux intérêts de la Société et de la Science.

» Le recrutement des nouveaux Membres est facilité par la publication périodique de Mémoires scientifiques qui constitue un puissant moyen d'attraction vis-à-vis des savants encore étrangers à notre Société. Cette année, nous avons publié les Œuvres de P. Curie, dont l'impression est terminée et qui seront mises incessamment en distribution. Nous préparons actuellement la publication d'un Volume de Constantes physiques, répondant ainsi à un vœu depuis longtemps exprimé par un des anciens bienfaiteurs de la Société, dont le nom est toujours présent à notre souvenir, de Romilly.

» Nos séances, toujours intéressantes, continuent à attirer un public nombreux; depuis un certain temps, une place plus large a été faite aux applications de la Science; on ne saurait trop s'en féliciter, à condition cependant que cela ne fasse pas perdre la tradition des études de haute précision qui ont été une des gloires de la Science française.

» Parmi les travaux de précision présentés pendant l'année 1907, il faut avant tout mentionner les communications de M. Guillaume, sur la base géodésique du Simplon et sur la détermination du Kilogramme. Vous me permettrez de remercier, en votre nom, M. Guillaume de la part si active

qu'il prend à nos travaux et de lui exprimer tous nos regrets d'être empêchés par nos statuts de l'appeler à la présidence de la Société, où il nous rendrait de si grands services.

» Les découvertes très intéressantes de M. Jean Becquerel sur les propriétés magnéto-optiques des cristaux ont fait l'objet de plusieurs communications de la part de leur auteur; elles constituent le fait le plus saillant de nos travaux pendant l'année écoulée.

» Dans le même ordre d'idées, on doit encore mentionner les recherches de MM. Weiss et Cotton sur le phénomène de Zeeman; la présentation par M. Jobin de quelques appareils de précision, tels que l'astrolabe de MM. Claude et Driencourt, le spectroscopie composé de M. Hamy.

» Il serait trop long d'énumérer toutes les savantes communications de nos collègues; je me contenterai de signaler rapidement les noms de MM. Devaux-Charbonnel, Chassagny, Féry, Korda, Millochau, Moulin, Tissot et, dans le domaine des applications de la Physique, de MM. Claude, Crémieux, Paraf-Javal, Victor Henri, etc.

» Notre réunion de Pâques a appelé, à Paris, un plus grand nombre de membres non résidants qu'elle ne l'avait encore fait. L'attrait des visites du Métropolitain organisées par M. Biette, directeur adjoint des travaux, n'a pas été étranger à ce résultat; sa conférence sur ce sujet a obtenu un vif et légitime succès.

» Le professeur Schuster, de Manchester, a bien voulu prendre la peine de venir nous exposer ses idées sur les relations entre les phénomènes électriques de l'atmosphère et l'activité solaire.

» Les conférences de MM. Benoit, Villard et Weiss n'ont pas été moins intéressantes.

» Enfin, notre exposition annuelle a, comme toujours, attiré de nombreux visiteurs, et leur affluence même est la meilleure récompense que nous puissions décerner aux nombreux exposants qui ont pris la peine de venir nous montrer leurs appareils.

» Après avoir rappelé toutes les circonstances heureuses de l'année 1907, il faut aussi en dire les tristesses. Rarement, dans le cours d'une seule année, des deuils aussi profonds nous avaient frappés. Nous avons perdu le plus illustre des physiciens, Lord Kelvin, membre honoraire de notre Société; des savants français éminents: Berthelot, Janssen, Moissan, Lœwy, membres de l'Institut; d'anciens et fidèles membres de notre Société; Crova, Hospitalier, Javal, Ponsot, et bien d'autres: de Bécordal, Cadot, Combes, Figuier, Goasguen, Laffargue, Serpollet et Sire. Ils ont bien mérité de la Science.

» En terminant, permettez-moi d'adresser nos plus vifs remerciements à notre Trésorier, M. Pellin, qui, comme son prédécesseur, M. de La Touanne, et comme ceux qui l'avaient précédé, s'occupe de nos intérêts avec un dévouement d'autant plus méritoire que, si ses fonctions sont infiniment utiles au fonctionnement de notre Société, elles ne sont pas bien attrayantes en elles-mêmes. Peut-être y aura-t-il lieu de rechercher si, en présence du nombre toujours croissant de nos Membres, il ne serait pas convenable de décharger notre Trésorier d'une partie de la correspondance, indispensable pour retenir tous nos confrères dans les sentiments voulus de fidélité, au profit de quelque autre membre du Bureau moins chargé.

» Enfin, vous m'en voudriez d'oublier notre Agent général, M. Sandoz, depuis si longtemps identifié avec notre Société, qu'aucun événement heureux ne peut nous arriver sans nous faire penser à sa collaboration de tous les instants.

» Il ne me reste plus qu'à faire des vœux pour la plus longue prospérité de notre Société et à céder le fauteuil de la présidence à notre éminent collègue M. Deslandres, ce que je fais avec le plus grand plaisir. »

Sur l'interprétation théorique des raies spectrales; par M. W. RITZ.
— M. HADAMARD ⁽¹⁾ a entretenu la Société de Physique, dans la séance du 20 décembre dernier, des relations qui existent entre le problème de l'origine des raies spectrales et certaines équations intégrales. J'avais déjà, avant M. Fredholm, envisagé [page 47 de ma thèse ⁽²⁾] une hypothèse qui revient en somme, au point de vue des équations qui en résultent, à celle de M. Fredholm, d'une force proportionnelle à la différence des écarts de deux particules ⁽³⁾. Si je n'ai pas insisté sur ce point, c'est que l'interprétation des phénomènes par des équations intégrales de ce genre est sujette à une objection sur laquelle Lord Rayleigh a particulièrement insisté, et qui semble décisive : c'est que dans un système vibrant l'accélération introduit nécessairement le carré des fréquences, qui joue le rôle du facteur λ de M. Hadamard, tandis que les lois spectrales simples se rapportent aux fréquences elles-mêmes.

Pour échapper d'une manière générale à cette objection, il faut admettre ou que les vitesses et les elongations interviennent seules dans les équations, ce qui paraît inadmissible, ou que les accélérations et les vitesses y figurent, mais non les elongations, c'est-à-dire que les forces agissantes sont de nature dynamique et proportionnelles aux vitesses. Or, nous connaissons une force de ce genre : c'est la force magnétique; et les champs magnétiques moléculaires jouent un rôle important dans les recherches récentes de M. Weiss sur la théorie du magnétisme. L'étude des vibrations que ces champs peuvent produire conduit effectivement d'une manière simple à l'interprétation des lois spectrales, telles que la formule de Balmer, la loi des séries, etc. En effet, un champ produit par des aimants moléculaires, identiques entre eux et susceptibles de se placer bout à bout en nombre plus ou moins grand, donne pour une charge électrique convenablement située un système de vibrations exprimé par la formule de Rydberg et, comme cas particulier, le système des vibrations de l'hydrogène, c'est-à-dire la loi de Balmer ⁽⁴⁾. La superposition d'un nouveau champ parallèle au premier donnera de nouvelles raies spectrales présentant avec les précédentes des différences constantes dans l'échelle des fréquences. Enfin, l'accord entre les observations spectroscopiques les plus précises et les formules auxquelles on est conduit par cette hypothèse va jusqu'à la cinquième et à la sixième décimale.

D'autre part, la suite encore inédite de cette théorie m'a montré que les mouvements oscillatoires de la molécule, lorsqu'elle se trouve placée dans un champ magnétique extérieur, ont pour effet de décomposer chacune des lignes spectrales : les polarisations sont bien celles qu'on observe dans l'effet Zeeman; mais, selon les conditions du mouvement de la molécule, on obtient des triplets, des quadruplets, enfin des décompositions de plus en plus compliquées, telles que celle en 15 lignes observée récemment par M. Lohmann dans le spectre du néon. La théorie exige d'ailleurs que les différences des fréquences des composantes soient entre elles comme des nombres entiers : c'est précisément ce qu'ont observé MM. Runge et Paschen dans leurs recherches sur l'effet Zeeman.

⁽¹⁾ Le passage signalé par M. Ritz, qui n'avait pas été indiqué par l'auteur dans le résumé qu'il a fait de sa thèse, semble ainsi avoir échappé à M. Fredholm lui-même. M. Fredholm me saura sans doute gré de réparer, pour lui, cette omission. (J. HADAMARD.)

⁽²⁾ *Thèse de Göttingen*, 1903.

⁽³⁾ L'introduction des dérivées de l'écart, qui complique les équations, est rendue nécessaire par certaines lois, telles que celles de Rydberg-Schuster, sur la connexion entre les séries principale et secondaire.

⁽⁴⁾ *Comptes rendus*, t. CXLV, 7 juillet 1907, p. 178.

Les courbures du géoïde dans le tunnel du Simplon; par M. BAILLOUIN. — Après avoir rappelé le principe de la méthode d'Éötvös, M. Bailloin donne quelques indications sommaires sur le mode d'amortissement des oscillations et de protection contre les trépidations et la méthode de mesure des déviations qui lui ont permis d'opérer dans le tunnel du Simplon (mars 1906) avec rapidité et précision. Les mesures brutes doivent être corrigées de l'action énorme due à la forme des cavités, tunnels, chambres latérales, galeries transverses, etc., pour avoir l'ellipticité du géoïde tel qu'il était au même point dans l'intérieur de la montagne pleine. Le résidu après ces corrections faites est encore considérable, variable en grandeur et orientation d'un bout à l'autre du tunnel, et les variations d'orientation des excès et des déficits de masse fournis par ces mesures, répartis sur une Carte de la région, sont bien en accord avec le relief général du sol. La projection de coupes de l'appareil et de Tableaux numériques des rayons de courbure bruts et corrigés et de quelques graphiques précise ces indications. Pour une description et une discussion détaillées, voir *Mémoires des Savants étrangers*, 1908.

Hystérèse dans les champs tournants; par MM. Pierre WEISS et V. PLANER. — M. A. COTTON présente, au nom de MM. Pierre WEISS et V. PLANER, des *Recherches sur l'hystérèse dans les champs tournants*. Les recherches fondamentales de Bailly ont montré que l'hystérèse se réduit à zéro dans les champs tournants très intenses. Cette importante propriété, qui a été constatée avec une approximation assez grossière, l'énergie restante étant encore 8 pour 100 environ de sa valeur maxima, méritait d'être confirmée exactement. D'autre part, on ne possédait que des renseignements contradictoires sur l'hystérèse dans les champs faibles.

La méthode employée dans ces nouvelles expériences est une généralisation de celle sur laquelle est fondé l'hystérésimètre Blondel-Carpentier. L'appareil diffère de celui-ci par le remplacement de l'aimant permanent par un électro-aimant. La forme des échantillons, au lieu d'être inspirée par les besoins des applications, est simplement celle d'un petit disque assez mince qu'on peut placer perpendiculairement ou parallèlement à l'axe de rotation du champ. On se rend compte aisément qu'on mesure ainsi successivement l'hystérèse tournante et l'hystérèse alternative sur le même échantillon. On sait, en effet, que l'énergie d'hystérèse par cycle est proportionnelle au couple moyen exercé sur la substance, lequel est indépendant de la vitesse de rotation.

Dans cet appareil l'électro-aimant permettait d'atteindre 10000 gauss. Un autre appareil a été construit avec des bobines sans fer pour les champs faibles jusqu'à 150 gauss environ. L'entraînement de l'appareil producteur du champ se faisait au moyen d'un moteur. Le montage de l'appareil, la mesure du couple par un ressort antagoniste, l'élimination des courants de Foucault ont exigé quelques précautions au sujet desquelles nous renvoyons au Mémoire qui paraîtra au *Bulletin*.

Les résultats suivants ont été obtenus :

Pour le fer et le nickel, l'énergie d'hystérèse tournante passe par un maximum égal environ à la moitié du maximum de l'énergie d'hystérèse alternative, puis décroît et tombe à zéro. Pour le fer doux, par exemple, la déviation observée dans les champs très intenses n'est que de quelques millièmes de celle qui mesure le maximum; la réduction à zéro se fait donc avec toute la précision des mesures.

Dans les champs faibles l'énergie d'hystérèse tournante est supérieure à l'énergie d'hystérèse alternative. Mais, contrairement à ce qu'avaient annoncé Grau et Hiecke, le rapport de ces deux quantités n'est pas constant et égal à 2, mais part d'une valeur élevée, voisine de 4 pour $H = 10$ gauss,

et décroît ensuite progressivement. Des résultats analogues ont été obtenus pour le nickel, l'acier, le fer électrolytique.

Enfin, la mesure de l'hystérèse par ces procédés rapides et exacts a permis de donner une confirmation de l'expression analytique donnée pour cette quantité à la suite de l'étude magnétique directe de la pyrrhotine et de montrer, par l'étude d'un plus grand nombre d'échantillons, que le champ démagnétisant principal, 7300 gauss, qui est aussi celui pour lequel l'hystérèse tournante s'annule, est une constante spécifique de cette substance.

A part les résultats ci-dessus, les appareils employés dans ce travail semblent destinés à étendre encore les connaissances générales sur l'hystérèse en fournissant les données sous une forme aisément discutable. Pour la même raison ils se prêtent très bien aux mesures industrielles.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES

SUR L'EXERCICE 1906-1907.

MESSIEURS,

Le compte de l'Exercice clos le 31 octobre dernier comprend les articles suivants :

Recettes.

En caisse au 1 ^{er} novembre 1906.....	fr 5825,46
Cotisations arriérées.....	fr 861,75
» de 1907.....	10650,00
Entrées.....	130,00
Souscriptions perpétuelles.....	4500,00
Intérêt du capital.....	7405,51
Vente des publications de la Société.....	228,00
Subvention ministérielle.....	240,00
TOTAL DES RECETTES.....	29840,72

Dépenses.

Loyer du siège social.....	fr 600,00
Traitement de l'agent.....	2400,00
Abonnements et reliures.....	845,75
Indemnité pour le service de la Bibliothèque.....	300,00
Bibliothèque circulante.....	432,80
Frais de bureau, étrennes, gratifications.....	1347,70
Distribution du <i>Bulletin</i> et des <i>Ordres du jour</i>	1768,85
Recouvrement des cotisations.....	524,15
Séance de Pâques et Conférences.....	1912,90
Commission électrotechnique internationale.....	200,00
Don de la Société aux Amis des Sciences.....	100,00
Gravure du <i>Bulletin</i>	164,90
Impressions Deslis.....	2526,50
» Gauthier-Villars.....	2826,85
Frais des Volumes des Constantes.....	343,00
Frais d'expériences.....	251,75
Divers.....	87,25
TOTAL DES DÉPENSES.....	16632,40

D'où il résulte un excédent de recettes, en caisse au 1^{er} novembre 1907, de..... 13208,32

Situation.

La situation de la Société au 1^{er} novembre 1907 se résume ainsi :

Actif.

516 obligations Nord, Est, Paris-Lyon-Méditerranée, Midi, Orléans et Ouest achetées 229678 ^{fr} ,20 et valant au 31 oc- tobre 1907.....	224557,00 ^{fr}
En caisse au 1 ^{er} novembre 1907...	13208,32
TOTAL DE L'ACTIF EN TITRES ET NUMÉRAIRE.....	237765,32

Sur le prix 79996^{fr},90 de 190 des obligations ci-dessus ne provenant pas de l'achat fait en conformité du testament Worms de Romilly, une somme de 70550^{fr}, égale au montant des souscriptions perpétuelles recueillies, correspond au placement obligatoire prévu aux Statuts (articles III et XIV) pour l'emploi des fonds provenant du rachat des cotisations annuelles.

Passif.

Néant.

Seconde partie de l'Actif.

Indépendamment des titres déposés en banque et qui constituent son avoir en partie immédiatement réalisable, la Société possède, en dépôt chez M. Gauthier-Villars, un grand nombre de Volumes qui augmentent sensiblement son avoir. En voici le relevé :

Coulomb.....	473	
Ampère I.....	529	} 3032 Volumes.
» II.....	646	
Pendule I.....	655	
» II.....	729	
Constantes I.....	684	} 2321 Volumes.
» II.....	768	
» III....	869	

Soit 5353 Volumes,..... portés pour mémoire.
Cotisations à recouvrer, évaluées à..... 460^{fr},00

Statistique.

Au 1 ^{er} novembre 1906.....	1312	Membres
Reçus en 1907.....	96	
TOTAL.....	1408	
A déduire :		
Décédés.....	14	} 28
Démissionnaires ou rayés.....	14	
Membres au 1^{er} novembre 1907.....	1380	

savoir :

484 à Paris,
489 en province,
407 à l'étranger,
1380

Les Membres à vie sont au nombre de 392, savoir :

	fr	fr
322 (dont 66 décédés) ayant versé...	200, soit.....	64400,00
14 (dont 1 décédé) » ...	150, »	2100,00
25 (dont 1 décédé) » ...	100, »	2500,00
31 » ...	50, »	1550,00
392		70550,00

La Commission a constaté le soin et le dévouement que M. le Trésorier a apportés dans l'accomplissement de ses nouvelles et délicates fonctions; elle vous propose, Messieurs, de lui adresser des remerciements et d'approuver les comptes ci-dessus exposés.

Paris, le 11 janvier 1908.

Les Membres de la Commission,
J. GAY, VIEILLE; GIRARDET, Rapporteur.

SÉANCE DU 7 FÉVRIER 1908.

PRÉSIDENCE DE M. DESLANDRES.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 janvier est lu et adopté.

Les personnes qui ont été présentées dans la dernière séance sont élues Membres de la Société.

Les personnes dont les noms suivent sont présentées pour être Membres de la Société. Il sera statué sur leur admission dans la séance du 21 février.

- MM. AGAR BAUGH (I.-H.), Fabricant, à Londres, E. C. (Angleterre).
 BAECHLIE (Paul), Chimiste, Licencié ès sciences physiques, à Paris.
 DRYSDALE (Charles Vickery), Licencié ès sciences, Londres, M. I. E. E., Northampton Institute, Clerkenwell, Londres (Angleterre).
 GUYOT, Préparateur à l'Ecole normale d'enseignement primaire, à Saint-Cloud.
 KLEIN, Préparateur au Laboratoire de Physique (Enseignement), à la Faculté des Sciences, à Paris.
 MAUNOURY (Victor-Gabriel), Chirurgien de l'Hôtel-Dieu de Chartres.
 SCHWEITZER (Alfred), D^r Professeur honoraire à l'Ecole polytechnique, à Zurich (Suisse).
 VAN DEN BOSSCHE (l'abbé Hubert), Directeur du Couvent de Saint-Vincent-de-Paul, à Selzerte (Belgique).
 WACHSMUTH (Richard), D^r Professeur, Physikalische Institut der physikalischen Vereins, Frankfurt-am-Main (Allemagne).
 THE JOHN CRERAR LIBRARY, Chicago, Ill. (U. S. A.).
 PHYSIKALISCHES INSTITUT DER GROSSHERZOGL. TECHNISCHEN HOCHSCHULE, zu Darmstadt (Allemagne).

M. BRILLOUIN, élu vice-président, M. E. BLOCH, élu vice-secrétaire, MM. DEBIERNE, le capitaine FERRIÉ, MOUTON, SACERDOTE, HEMSALECH, LOUIS LUMIÈRE, MOREAU et ZEEMAN, élus membres du Conseil, adressent leurs remerciements à la Société.

M. le PRÉSIDENT rappelle que le Rapport de la Commission des Comptes sur l'exercice 1906-1907 a été adressé à tous les Membres de la Société; il demande s'il y a quelques observations à faire à ce Rapport. Aucune observation n'étant présentée, le Rapport de la Commission des Comptes est mis aux voix et adopté.

M. le PRÉSIDENT informe la Société que le 46^e Congrès des Sociétés savantes s'ouvrira à la Sorbonne le mardi 21 avril 1908, à 2 heures précises; ses travaux se poursuivront durant les journées des mercredi 22, jeudi 23 et vendredi 24 avril.

Le samedi 25 avril, M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts présidera la séance générale de clôture, dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne.

M. le PRÉSIDENT annonce la prochaine réunion des Congrès suivants :

1^o Un Congrès international des applications de l'électricité se tiendra à Marseille du 14 au 20 septembre 1908. Des programmes complets seront adressés aux personnes qui en feront la demande au Secrétariat du Congrès, 63, boulevard Haussmann, Paris.

2^o Le IV^e Congrès international des Mathématiciens, sous le haut patronage de S. M. le Roi d'Italie, aura lieu à Rome, du 6 au 11 avril 1908. Pour tous les renseignements se rapportant au Congrès, s'adresser au Secrétaire général du Comité d'organisation, M. le Professeur G. Castelnuovo, 5, piazza S. Pietro in Vincoli, Rome (Italie).

Emploi du galvanomètre à cadre mobile comme instrument universel dans les mesures sur les courants alternatifs; par M. Henri ABRAHAM. — Les courants alternatifs de faible intensité, tels que les courants téléphoniques, sont jusqu'ici peu étudiés faute d'appareils sensibles. Le thermogalvanomètre Duddell n'arrive, par exemple, à déceler quelques microampères qu'avec des résistances intérieures de dizaines de milliers d'ohms. En outre, cet instrument ne donne pas d'indication sur les phases des courants.

Le galvanomètre à cadre mobile et électro-aimant feuilleté permet d'obtenir une très grande sensibilité qui reste la même, soit dans la mesure des courants continus, soit dans celle des courants alternatifs de fréquence même très élevée (500 périodes par seconde et au delà). Avec une résistance intérieure d'une centaine d'ohms, on appréciera le millième de microampère.

Dans la plupart des applications, on n'emprunte donc pour les mesures qu'une fraction insignifiante des courants.

Le champ dans l'électro-aimant étant $H \sin \omega t$, si l'on envoie dans le cadre mobile le courant $I \sin(\omega t - \varphi)$, la déviation permanente sera proportionnelle à

$$HI \cos \varphi.$$

Supposons maintenant qu'on remplace ce courant par un autre de même amplitude, mais qui soit exactement en quadrature avec le premier; la déviation mesurera

$$HI \sin \varphi,$$

et l'ensemble des deux expériences fera connaître à la fois l'amplitude et la phase du courant I.

Voici comment on obtient très simplement ces courants égaux et en quadrature :

1^o On enroule quelques tours de fil sur l'électro-aimant. La force électro-

motrice induite dans cet enroulement est *en quadrature* avec le flux de l'électro-aimant.

2° On prend, d'autre part, une dérivation aux extrémités d'une résistance sans self intercalée dans le circuit d'excitation de cet électro-aimant. La force électromotrice obtenue est *en phase* avec le flux dans l'électro, et rien n'est plus aisé que de régler cette deuxième force électromotrice à l'égalité avec la première.

Applications. — Les montages qui viennent d'être décrits ont été réalisés au cours d'expériences faites en commun avec M. Devaux-Charbonnel, sur les lignes et les appareils téléphoniques.

L'auteur résume quelques-unes des mesures faites dans cette étude : contrôle des dispositifs de mesures par l'étude de capacités et de selfs connues; propagation d'un courant alternatif à 500 périodes et à 250 périodes sur une ligne téléphonique souterraine de grande longueur du réseau de Paris; amplitude et phase du courant et de la force électromotrice aux différentes distances; influence des appareils mis en ligne.

Quelques expériences sont faites en séance avec le courant à 42 périodes.

Sur les spectres de flamme; par MM. HEMSALECH et DE WATTEVILLE. — M. de Watteville rappelle le résultat de ses recherches antérieures sur les spectres de flamme produits par la méthode du pulvérisateur de M. Gouy⁽¹⁾. Ces spectres sont les plus riches en raies que l'on connaisse et s'étendent fort loin dans l'ultra-violet. M. de Watteville a cherché de ce fait des explications thermiques et chimiques. Il semble qu'avec l'emploi du pulvérisateur, la matière étudiée, mêlée d'avance aux gaz combustibles, doit subir des transformations plus complètes que lorsqu'elle est simplement introduite dans la flamme toute formée. C'est ce qui paraît résulter d'une expérience de M. de Watteville qui fait bien voir les différences qui existent entre les diverses parties de la flamme au point de vue de l'émission des raies.

MM. Hemsalech et de Watteville ont institué une nouvelle méthode de production des spectres de flamme qui, tout en possédant l'avantage précité de l'appareil de M. Gouy, a celui de n'utiliser que de fort petites quantités des matières rares et de permettre l'emploi de gaz tels que l'hydrogène et l'oxygène. Ce procédé consiste essentiellement à faire passer l'air ou le gaz qui doit alimenter la flamme du brûleur dans un ballon au centre duquel éclate un arc ou une étincelle entre des fragments de la substance à examiner. On obtient ainsi des spectres infiniment voisins de ceux que donne la méthode du pulvérisateur.

Les auteurs ont fait diverses expériences pour se rendre compte de l'état de la matière ainsi arrachée aux électrodes par l'arc ou l'étincelle, et transportée dans la flamme. En insufflant l'air sortant du ballon, où brûle un arc entre des tiges de fer, dans un second arc ou une étincelle éclatant entre des tiges de cuivre, ils ont vérifié que les spectres d'arc ou d'étincelle du fer se superposent dans leur entier à celui du cuivre. Si l'on filtre sur du coton de verre cet air émané du ballon, on voit le spectre continu donné par la flamme s'atténuer beaucoup, tandis que l'intensité des raies est peu affectée.

Enfin, l'emploi de leur nouvelle méthode a permis à MM. Hemsalech et de Watteville de faire passer dans la flamme du chalumeau oxyhydrique la substance à étudier, mêlée directement aux gaz constituants. Ils ont obtenu ainsi des spectres qui présentent des différences avec ceux qui sont donnés par les méthodes précédentes. Ils ont pu aussi observer que la flamme pro-

(¹) *Thèse de Doctorat*, 1904; *Phil. Trans.*, 1904.

duite par de l'hydrogène seul qui a passé dans un ballon où se trouve un arc ou une étincelle donne quelques raies très rares et très faibles seulement, tandis que l'addition d'oxygène au gaz précédent suffit pour que le spectre du corps essayé se produise très brillant.

Les auteurs espèrent pouvoir, lorsque leurs recherches seront plus avancées, tirer de tous ces faits des conclusions intéressantes relatives aux actions chimiques et thermiques qui se produisent dans la flamme.

M. de Watteville remercie M. Ducretet d'avoir eu l'obligeance de lui prêter la bobine qui lui a servi à répéter quelques expériences devant les Membres de la Société.

SÉANCE DU 21 FÉVRIER 1908.

PRÉSIDENCE DE M. BRILLOUIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 février est lu et adopté.

Les personnes qui ont été présentées dans la dernière séance sont élues Membres de la Société.

Les personnes dont les noms suivent sont présentées pour être Membres de la Société. Il sera statué sur leur admission dans la séance du 6 mars.

M^{me} VERSCHAFFELDT, à Uccle (Belgique).

M^{lle} LOUIS, Professeur de Sciences au Lycée de jeunes filles de Brest.

M^{me} ALBO (Lucie), Professeur de Sciences au Lycée de jeunes filles de Toulouse.

MM. CARVALLO (Jacques), Professeur au Lycée Lakanal.

DOMANGE (Pierre), Ingénieur agronome, à Paris.

LE DIRECTEUR DE L'ÉCOLE SAINT-LOUIS, à Liège (Belgique).

FORTH (J. Clarence), M. A., B. Sc., à Londres (Angleterre).

JURIEN DE LA GRAVIÈRE (P.), à Paris.

HUFF (William-B.), Professor of Physics, à Bryn Maw College, Pa. (États-Unis).

MEYER (J. Franklin), Professor of Physics, State College Pennsylvania (États-Unis).

DE ROHAN-CHABOT (J.), à Paris.

VERSCHAFFELDT, Professeur à l'Université libre de Bruxelles, à Uccle (Belgique).

WHEATLEY (William), B. A., à Preston (Angleterre).

M. le PRÉSIDENT annonce les pertes douloureuses que la Société vient de faire en les personnes de M. LHUILLIER, Professeur au Lycée de Nantes, et de M. Ch. ZENGER, Professeur à l'École polytechnique de Prague.

Influence de la température sur les constantes d'un détecteur électrolytique; par M. HENRI ABRAHAM. — Le mode de fonctionnement d'un détecteur électrolytique paraît pouvoir être à peu près caractérisé par deux quantités :

1° Sa capacité de polarisation au voisinage immédiat de la polarisation normale sous laquelle il est utilisé;

2° Sa résistance ohmique intérieure, en série avec la capacité de polarisation.

Ces quantités ont pu être mesurées au moyen du galvanomètre à courants alternatifs pour courants à 500 périodes qui a été présenté antérieu-

rement à la Société, avec lequel on détermine aisément les amplitudes et les phases des courants.

La capacité est de l'ordre des centièmes de microfarad, et la résistance intérieure de plusieurs milliers d'ohms pour les détecteurs de bonne sensibilité employés en télégraphie sans fil.

Des détecteurs à fil plus gros, qui sont moins sensibles, ont une capacité plus forte et une résistance plus faible; la variation de ces quantités est moins rapide que la variation de surface libre de l'électrode.

Influence de la température. — Des détecteurs ont été chauffés à 120°. Leur résistance est réduite à quelques centaines d'ohms, et leur capacité augmente jusque vers un demi-microfarad; mais cette augmentation de résistance ne nuit pas à la sensibilité.

Leur faible résistance intérieure permet, à sensibilité égale, un meilleur accord, une syntonie plus parfaite du circuit vibrant et des ondes excitatrices. Ces circonstances peuvent rendre quelques services en télégraphie sans fil.

Transmetteurs et récepteurs pour la télégraphie sans fil. Dispositifs d'accord. Eclateur en vase clos à circulation de gaz. Condensateurs à lames et à bouteilles, types T. S. F.; par M. E. DUCRETET. — M. E. Ducretet rappelle ses expériences de 1898 et les dispositifs d'accord employés et décrits par lui dès cette époque : dispositifs maintenant utilisés avec succès dans tous les postes de télégraphie sans fil. Il décrit ses postes d'essai de la rue Claude-Bernard et de la rue Custine, dans Paris, et l'énergie qui est nécessaire pour établir la communication, sans fil, entre ces deux postes malgré les obstacles immédiatement interposés. Avec expériences, M. Ducretet décrit deux types de transformateurs à haute tension à circuit magnétique ouvert et à circuit magnétique fermé; il met en évidence les avantages de l'emploi d'un éclateur en vase clos avec circulation de gaz; éclateur accouplé au dispositif d'accord par résonateur Oudin à réglage, indiqué par Ducretet dès 1898. Tous les appareils, qui constituent un *poste complet*, sont ainsi montrés à la Société : dispositifs de protection; récepteur à relais avec Morse automatique; détecteur électrolytique, suivant M. le capitaine Ferrié, avec récepteurs téléphoniques à réglage très sensibles; dispositifs d'accord combinés; manipulateur automatique pour les phares et les sémaphores. Tous ces appareils, employés aux grandes distances, possèdent des détails de construction qui caractérisent les modèles Ducretet.

SEANCE DU 6 MARS 1908.

PRÉSIDENCE DE M. DESLANDRES.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 février est lu et adopté.

Les personnes qui ont été présentées dans la dernière séance sont élues Membres de la Société.

Les personnes dont les noms suivent sont présentées pour être Membres de la Société. Il sera statué sur leur admission dans la séance du 20 mars.

M^{lle} MANIÈRE (Berthe), Professeuse au Lycée de jeunes filles d'Agen.

M. ARMENGAUD jeune, Ingénieur-Conseil, à Paris.

MM. D'AZEVEDO (Francisco de Paula), Professeur de Physique à l'Académie polytechnique de Porto (Portugal).
 BAYEUX (Raoul), D^r en Médecine, à Paris.
 BEATTIE (John-Carruthers), Professor of Physics, South African College, Capetown.
 CONTI (James-Tiburce-Félix), Ingénieur civil, à Paris.
 BETIENCOURT, Professeur au Lycée d'Alençon.
 CHAVANON (Antoine), Ingénieur, à Lyon.
 DURAND (D^r), Professeur à l'École supérieure du Commerce, à Genève (Suisse).
 KOTELOW (Constantin), Professeur de Physique à l'École des Mines supérieure, à Ekathérinoslaw (Russie).
 LEBLANC (Maurice-Auguste-Eugène), Professeur au Lycée de Besançon.
 NORDMEYER (D^r Paul), Assistant du Laboratoire de Physique de l'École polytechnique, à Aix-la-Chapelle (Allemagne).
 PERRIGOT (Marius), à Lyon.
 SCHEUER (Otto), D^r ès sciences, École de Chimie, à Genève (Suisse).
 WROCZYNSKY, à Genève (Suisse).

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL signale dans la correspondance les deux Notes suivantes :

M. G.-M. STANOÏÉVITCH. — La radioactivité et la résonance.

M. A. DESPAUX. — Électricité de contact. Pile. Explication cinétique.

Sur le rendement optique et l'équivalent mécanique de la lumière, par M. le D^r C.-V. DRYSDALE; présenté par M. Ch. FÉRY. — J. Frappé des divergences considérables qui existent entre les valeurs données pour représenter l'équivalent mécanique de la lumière, et étant donnée l'importance qui s'attache à la connaissance de ce rapport, l'auteur, en collaboration avec M. Jolley, a entrepris une série de mesures à ce sujet.

Les auteurs définissent d'abord ce qu'on entend par rendement optique. D'une manière générale, c'est le rapport $R = \frac{L}{Q}$ de l'énergie lumineuse

$L = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{\lambda} d\lambda$ à l'énergie totale Q fournie à la source.

Ce rapport varie suivant les limites admises pour λ_1 et λ_2 et la loi de répartition de l'énergie dans la partie lumineuse du spectre.

La définition de M. Guillaume $R = \frac{L_{0,54}}{Q}$, dans laquelle $L_{0,54}$ est l'énergie de la radiation de la longueur d'onde de Langley $\lambda = 0\mu,54$, conduit à un rendement unité pour une source monochromatique de cette couleur.

II. Deux méthodes ont été employées jusqu'ici pour isoler l'énergie lumineuse du faisceau total du radiateur étudié; la plus ancienne emploie dans ce but une cuve présentant une absorption convenable. Plus volontiers, aujourd'hui, on se sert d'un prisme pour produire cette sélection; des écrans convenablement disposés arrêtent les radiations obscures.

C'est à cette dernière méthode que les auteurs se sont arrêtés: un prisme de sulfure de carbone donne, au moyen d'une lentille, un spectre de la source de petites dimensions choisie (lampe Nernst, arc).

La radiation jaune-vert, indiquée par Langley comme celle occupant dans le spectre le maximum de sensibilité de la rétine, tombe simultanément sur un bolomètre et sur un photomètre à *test* disposé pour la photométrie hétérochrome.

Le bolomètre permettait de déceler $\frac{1}{2}$ watt à 2^m .

Quand l'équilibre photométrique est obtenu entre cette radiation et celle totale provenant d'une lampe à incandescence étalonée, on mesure

l'énergie lumineuse transportée par $\lambda = 0\mu,51$ de la manière suivante : une autre lampe à incandescence, dite *de comparaison*, est placée juste au-dessus du prisme de sulfure de carbone; elle est réglée de telle manière qu'en substituant sa radiation totale à la radiation monochromatique, le bolomètre ne décèle aucune variation. L'énergie du flux est ainsi connue par les watts dépensés dans cette lampe de comparaison et par sa distance au bolomètre.

Des mesures ont été faites également sur la radiation blanche limitée entre $\lambda_1 = 0\mu,39$ et $\lambda_2 = 0\mu,76$.

Le rapport trouvé est plus faible que toutes les valeurs indiquées auparavant. Ceci est très encourageant, en montrant que les sources actuelles peuvent être très améliorées.

Ce travail, qui n'est pas donné comme définitif, conduit aux conclusions suivantes :

Une source idéale fournirait 10 bougies par watt en lumière blanche.

Une source monochromatique $\lambda = 0\mu,54$ donnerait 17 bougies par watt.

Les auteurs espèrent que leur travail suscitera de nouvelles recherches sur ce sujet dont l'importance pratique est considérable.

Signal d'appel pour détecteur électrolytique; par M. C. TISSOT. — Un galvanomètre, intercalé à la place du téléphone dans le circuit d'un détecteur électrolytique, dévie lorsque le détecteur reçoit une oscillation électrique. Cette déviation, qui est *temporaire*, c'est-à-dire ne se produit qu'autant que les oscillations agissent, est proportionnelle, dans certaines limites, à l'énergie des oscillations reçues.

Le courant continu qui prend naissance est susceptible de faire dévier un galvanomètre sensible, mais est incapable d'actionner un relais (du moins quand le poste d'émission des ondes est situé à une distance notable).

Le dispositif en question consiste à utiliser indirectement la déviation d'un galvanomètre à miroir en impressionnant par le faisceau lumineux réfléchi une cellule au sélénium.

Le miroir concave du galvanomètre, éclairé par une source d'intensité convenable, donne sur une échelle un spot de forme rectangulaire. Une portion de cette échelle est remplacée par une bande découpée dans un miroir concave dont le rayon est égal à la distance de l'échelle au miroir du galvanomètre.

Tant que le spot se déplace sur la surface du miroir MM', il se produit dans le plan *central* de ce miroir, c'est-à-dire dans le plan du miroir du galvanomètre, une image fixe et d'éclairement uniforme.

Une cellule au sélénium, disposée à la place où se forme cette image fixe, est impressionnée tant que le spot se promène sur le miroir MM'.

Pour régler l'appareil et obtenir l'enregistrement qu'on désire, c'est-à-dire la mise en action du relais intercalé dans le circuit de la cellule au sélénium avec une pile de force électromotrice convenable pour des émissions de puissance comprise entre des limites déterminées, on déplace le miroir MM' dans son plan de manière qu'il ne commence à recevoir le spot que lorsque la déviation prend une certaine valeur.

Le dispositif peut être modifié pour obtenir l'*amplification* des déviations d'un galvanomètre (intercalé, par exemple, dans le circuit d'un bolomètre), tout en conservant sensiblement la proportionnalité de ces déviations.

Il permet ainsi d'exécuter des observations délicates en n'employant que des instruments robustes et relativement peu sensibles.

Le miroir concave MM' est recouvert d'un écran portant une fenêtre découpée en carré à diagonale verticale. La fenêtre éclairée destinée à former le spot présente la même forme et les mêmes dimensions.

L'ensemble du spot et de la portion libre du miroir constitue ainsi une sorte d'*œil de chat*.

Quand le galvanomètre est au zéro, le miroir et son écran sont disposés de manière que le spot éclairé vienne juste à toucher, angle à angle, la fenêtre qui découvre le miroir.

La portion éclairée du miroir présente une aire proportionnelle au déplacement du spot, c'est-à-dire à la déviation du galvanomètre.

L'éclairement de l'image fixe formée dans le plan central de MM' sur la cellule au sélénium varie aussi proportionnellement à la surface éclairée du miroir MM', c'est-à-dire suivant la même loi que la déviation galvanométrique.

On intercale, dans le circuit de la cellule au sélénium, un second galvanomètre dont les déviations se trouvent être fonctions de celles du premier, mais peuvent être incomparablement plus grandes.

Le problème de l'aviation et sa solution par l'aéroplane; par M. ARMENGAUD jeune. — M. Armengaud, après un rapide aperçu des tentatives faites jusqu'à ce jour pour permettre à l'homme de s'élever par ses propres moyens, en réalisant le plus lourd que l'air, c'est-à-dire sans avoir recours aux ballons remplis d'air chaud ou de gaz léger, d'après la célèbre découverte des frères Montgolfier, a abordé l'examen des théories proposées jusqu'à ce jour pour expliquer le vol des oiseaux. Il s'est livré à une analyse, puis à un examen comparatif de ces théories pour dégager les formules applicables à la construction des appareils d'aviation en général et des aéroplanes en particulier.

De l'application des diverses formules proposées au vol naturel des oiseaux, comme au vol artificiel des aéroplanes, il tire cette conclusion qu'on ne peut pas se servir des valeurs trouvées par les mesures expérimentales pour le coefficient de la résistance de l'air. Ce coefficient est l'effort qu'il faut dépenser en kilogrammes pour déplacer normalement dans l'air une surface de 1^m avec une vitesse de 1^m par seconde; il cesse d'être exact lorsque le plan est incliné sur la direction du mouvement, suivant un angle qu'on appelle *l'angle d'attaque*. C'est grâce à la vitesse du plan rencontrant l'air qu'il se produit une réaction, dont la composante verticale fait équilibre à la pesanteur et en annule l'effet.

M. Armengaud a montré, après d'autres auteurs et notamment M. Drzewiecki, que l'application de la valeur admise pour le coefficient, entre 0,085 et 0,13, donne ce résultat singulier que les oiseaux ne devraient pas voler et que les aéroplanes de MM. Santos-Dumont, Blériot, Esnault-Pelterie et Farman n'auraient pas dû quitter le sol en tenant compte des éléments qui les constituent, notamment la puissance du moteur et la surface par rapport au poids à soulever. Il a été obligé, dans le calcul de l'aéroplane de M. Santos-Dumont, de porter la valeur du coefficient à 0,35, c'est-à-dire la tripler. Le capitaine Ferber a grossi ce coefficient jusqu'à 0,5 pour l'appareil Farman, et M. Soreau est convaincu que ce chiffre doit être encore augmenté pour expliquer la qualité sustentatrice des ailes de la plupart des oiseaux.

D'où vient cette discordance? se demande M. Armengaud. Pourquoi la qualité sustentatrice des ailes et des planeurs est-elle meilleure que celle à laquelle on est conduit par le calcul? N'est-on pas fondé à en rechercher une première cause dans ce fait qu'on ne connaît qu'imparfaitement les lois des mouvements des fluides, c'est-à-dire de cette branche de la Science qui est l'Aérodynamique? Il est à remarquer d'ailleurs que dans les essais qui ont été faits par des expérimentateurs, tels que le physicien Dubuat, le général Morin, le colonel Duchemin, puis MM. Marey, Langley, le colonel Renard et ensuite MM. Soreau, Canovetti et tout récemment M. Eiffel, on n'a pas mesuré à part la composante de la résistance prove-

nant du frottement de l'air sur la surface du plan dénommé *carreau*, soumis au mouvement dans l'espace avec un angle peu ouvert, comme celui des oiseaux dans le vol plané. C'est par une relation mathématique dont on n'est pas sûr qu'on a évalué le coefficient de la résistance.

Le conférencier annonce que M. Marcel Armengaud, son fils, s'est proposé de faire cette détermination d'une façon directe en reprenant la méthode du pendule employée par Dubuat, combinée avec un enregistrement graphique. Dans ce cas le carreau sera disposé dans un cadre de manière qu'il puisse se déplacer dans son plan et dans deux sens perpendiculaires; on pourra ainsi évaluer séparément la résistance provenant du choc des molécules d'air et celle qui résulte de leur frottement sur la surface du carreau.

Mais, selon M. Armengaud, il reste encore quelque chose d'énigmatique dans le phénomène du vol des oiseaux. N'est-il pas téméraire de penser, comme l'a suggéré récemment l'ingénieur autrichien M. Suchanek, que l'électricité, dont la présence est si manifeste dans l'atmosphère, jouerait un rôle favorable pour accroître la réaction verticale, c'est-à-dire pour renforcer le point d'appui que le volateur trouve dans l'air. Cette électricité serait produite précisément par le frottement qu'exercent les molécules d'air sur la surface des êtres ailés, la plume ou le duvet chez l'oiseau, la membrane velue chez la chauve-souris et la pellicule cirreuse des ailes et des élytres chez les insectes. C'est sur ces deux points notamment que M. Armengaud fait appel d'une manière générale au concours des physiiciens pour aider les ingénieurs et les aviateurs à perfectionner les aéroplanes.

Au point de vue mécanique, comme l'a très bien dit M. Soreau, il y a peu de progrès à faire en ce qui concerne l'allègement des moteurs. Il faudra surtout en rendre le fonctionnement plus souple et plus régulier.

Les propulseurs, c'est-à-dire les hélices, n'ont pas un si mauvais rendement qu'on le pense, mais cependant ils pourront être améliorés dans le sens précité au point de vue de la forme et de la nature de la surface des palettes. Mais c'est principalement sur les ailes, c'est-à-dire les organes sustentateurs, que l'attention devra être portée pour mieux utiliser la surface portante. Faudra-t-il préférer les monoplans aux biplans et la rigidité à la déformabilité? La stabilité devra-t-elle se faire automatiquement ou avec le concours du pendule ou du gyroscope? C'est à l'expérience de se prononcer à cet égard.

SÉANCE DU 20 MARS 1908.

PRÉSIDENCE DE M. DESLANDRES.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 mars est lu et adopté.

Les personnes qui ont été présentées dans la dernière séance sont élues Membres de la Société.

Les personnes dont les noms suivent sont présentées pour être Membres de la Société. Il sera statué sur leur admission dans la séance du 3 avril.

M^{lle} FABIN, Professeur au Lycée de jeunes filles de Chambéry.

MM. CUCHE (Jules), Dr en Médecine, à Honfleur.

FERRY (l'abbé), Professeur à l'Institution de La Malgrange (Nancy).

GOUGOT (Jean-Antoine), Professeur à l'Ecole normale d'Instituteurs de Privas.

MM. IGOVESCO (Dr), ancien Interne des Hôpitaux, Maître de Conférences à l'École des Hautes Études, Paris.

JUPEAU, Professeur au Lycée de Poitiers.

KIEN (l'abbé Pierre), Physicien, à Bonn (Allemagne).

KRÜGER (F.), Dr Phil., Privat-dozent der Physik d. Universität, Göttingen (Allemagne).

LECHAUDÉL (René), Industriel, à Pont-sur-Saulx, par Robert-Espagne.

LEES (Charles-Herbert), Dr Sc. F. R. S., London, Professor of Physics in the East College London, à Essex (Angleterre).

MARIE (Charles), Préparateur à la Faculté des Sciences de Paris.

SCHOTT (G.-Adolphe), Chargé de Cours, University College of Wales, Aberystwyth (Angleterre).

Sur l'extension du théorème de Clausius; par M. H. AMAGAT. — M. Amagat rappelle d'abord le désaccord existant entre les physiciens relativement à l'extension du théorème de Clausius et les points faibles de quelques-unes des démonstrations proposées. Il montre ensuite qu'en se bornant à la thermodynamique des fluides, mais en se plaçant dans le cas très général, c'est-à-dire en considérant un système formé de parties liquides et gazeuses, avec ou sans viscosité et frottement, à l'état de mouvement ou de repos, la température et la pression variant du reste d'un point à l'autre du système et avec le temps, on peut arriver au but sans faire d'hypothèses et en utilisant seulement la formule d'hydrodynamique donnant l'expression de la pression intérieure d'une masse fluide en mouvement et celle donnant la même expression dans le cas où il y a viscosité.

On retrouve du reste les résultats obtenus par M. Duhem en suivant une voie toute différente, ramenés bien entendu au cas dont il s'agit; c'est-à-dire que pour un cycle fermé réversible ou non, mais ne comportant ni frottement, ni viscosité, l'intégrale de Clausius est nulle, tandis que, dans le cas où il y a frottement et viscosité, on a

$$(1) \quad \int \frac{dq}{T} = -A \int \frac{d\mathcal{C}_f + d\mathcal{C}_v}{T},$$

$d\mathcal{C}_f$ et $d\mathcal{C}_v$ étant les travaux de viscosité et de frottement; c'est au double signe d'intégration près la relation donnée par M. Duhem.

M. Amagat fait remarquer ensuite, à propos de la fonction $(ST - U)$ et de sa différentielle

$$(2) \quad d(ST - U) = p dv + S dT,$$

que, dans le cas de phénomènes irréversibles, on ne peut *a priori, sans faire d'hypothèses*, supposer que cette relation subsiste, p y représentant la pression du corps; lorsqu'on établit la relation en question (2) dans le cas de phénomènes réversibles, $p dx$ y représente le travail externe et, par suite, p la pression extérieure; dans ce cas p est aussi la pression du corps, laquelle est égale à la pression extérieure; mais il n'en est plus de même dans le cas de transformations irréversibles; cependant, en tenant compte des relations qui dans ce cas conduisent à la formule (1), on peut facilement montrer que la relation (2) subsiste, p y représentant la pression du corps, de telle sorte qu'on a toujours le droit d'écrire

$$\frac{d(ST - U)}{dv} = p,$$

p étant la pression du corps et $(ST - U)$ ne dépendant que de l'état de celui-ci.

Épreuves réversibles. Photographies intégrales; par M. LIPPMANN.

— M. Lippmann indique le principe d'un système de photographies destiné à montrer les objets extérieurs en relief et en grandeur naturelle, sans l'aide du stéréoscope. Chaque élément de la plaque est constitué par une petite chambre noire sphérique, analogue à un œil dont la rétine serait remplacée par une couche réversible. La vue est prise sans chambre noire, simplement en exposant la plaque, protégée par un châssis, devant les objets à reproduire. Après développement et fixage, chaque petite rétine porte une photographie grand-angulaire, son panorama de moindre extérieur.

On regarde la plaque en tournant du côté de l'œil le côté qui porte les petites cornées qui ont fourni des images, de façon que chaque photographie élémentaire soit vue à travers l'objectif élémentaire qui l'a fournie. Le résultat est que chaque œil voit, non pas les innombrables images élémentaires, mais une seule image résultante, de même grandeur apparente que les objets réels vus du point où l'œil est placé. Cela tient à ce que toute chambre noire est réversible lorsqu'on éclaire l'image α d'un point extérieur A; les rayons émergents redonnent dans l'espace une image aérienne qui occupe la place de A. Le système de ces images réelles est distribué dans l'espace comme l'étaient les points réels A, et il est perçu par chaque œil comme si celui-ci se trouvait devant le modèle primitif. Le point de vue étant différent pour les deux yeux, on a le relief par vision binoculaire sans stéréoscope.

Les yeux composés des insectes sont constitués comme cette plaque et donnent des objets extérieurs une infinité de petites images qu'on peut photographier et que M. Lippmann projette sur le tableau.

Ces photographies ont été exécutées en 1905 par M. Vigier,

M. BROCA présente une remarque physiologique au sujet de la communication de M. Lippmann. Il est intéressant de déterminer le plus petit diamètre que devront avoir les dioptries élémentaires de M. Lippmann pour que l'œil, regardant l'image reconstituée, discerne exactement les mêmes détails que dans la contemplation directe du sujet. La condition à remplir pour cela est que la définition de chacune des dioptries élémentaires soit égale à l'angle limite de l'œil observateur. L'angle limite d'un bon œil moyen est de 1 minute, ce qui correspond à l'acuité visuelle 1; cet angle limite est d'ailleurs imposé par la constitution de la rétine, et non par l'ouverture pupillaire. La définition de 1 minute correspond à un diamètre de 2^{mm} environ si l'on admet les nombres de Foucault. Si donc l'on veut que l'œil discerne autant de détails dans l'image reconstituée que dans l'objet vu directement, il faut que chacune des dioptries élémentaires ait au moins 2^{mm} de diamètre. Si l'on admet que l'œil voie l'image reconstituée comme un œil doué de l'acuité visuelle de 0.5 verrait le paysage, on pourra se contenter d'ouvertures de 1^{mm} pour les dioptries élémentaires. Il semble difficile d'obtenir des résultats satisfaisants pour l'œil en descendant au-dessous de cette limite.

M. LE CHARDONNET signale que le collodion comprimé que M. Lippmann espère utiliser pour ces plaques lui causera peut-être des ennuis à cause des raisons suivantes : 1° le collodion se comprime mal; 2° le collodion comprimé n'est pas homogène. Il pense qu'on pourrait peut-être essayer de percer des trous dans du verre, d'y verser du collodion et de le laisser sécher; malheureusement, les surfaces obtenues se déformeront lors de leur dessiccation.

Le procédé qui lui paraît le meilleur actuellement pour la confection de la plaque consisterait à mettre les uns à côté des autres des morceaux de baguettes de verre cylindriques, convenablement taillés.

De la condensation dans les machines à vapeur; par M. Maurice LEBLANC. — L'adoption des turbines à vapeur a reposé le problème de la condensation, le rendement de ces machines ne pouvant dépasser et même atteindre celui des machines à piston que si elles débouchent dans un condenseur où le vide est très élevé.

On cherche à faire des condenseurs où la pression ne soit pas supérieure à 30^{mm} de mercure. Pour faciliter l'action des pompes, on en emploie une pour extraire l'eau et une pour extraire l'air, tandis qu'on n'en employait qu'une seule dans les anciens condenseurs. C'est la pompe à air qui est la plus difficile à réaliser.

On a fait des pompes dont les soupapes sont mues par un mouvement de distribution, pour que le fluide aspiré n'ait pas à les soulever et où l'on a réduit extrêmement les espaces nuisibles. Ces pompes produisent un excellent vide lorsqu'on leur fait aspirer de l'air sec provenant de l'atmosphère, mais leur effet utile est très réduit lorsqu'on les fait aspirer dans un condenseur. C'est que le milieu du condenseur est toujours très agité, la vapeur y arrivant avec une grande vitesse qui se consomme en remous. Les pompes entraînent trop d'eau pour qu'elle puisse se vaporiser entièrement pendant la compression. Alors les parois du piston et celles de l'espace nuisible se tapissent de gouttelettes d'eau chaude; celles-ci se vaporisent partiellement, pendant l'aspiration, et la vapeur produite occupe une grande partie du volume engendré par le piston.

C'est pourquoi on a cherché à remplacer les pompes à piston par des trompes à eau actionnées par des pompes centrifuges. L'auteur, chargé d'étudier ce système, trouva qu'on pouvait ainsi obtenir les vides voulus, mais que la dépense du travail nécessaire était trop grande.

Il pensa alors à lancer dans la trompe, non plus un jet d'eau, mais une succession de lames d'eau très minces, qui pussent englober entre elles l'air qui les séparait. Pour obtenir ces lames, il s'est servi d'une turbine à injection partielle, dont les aubes sont mues mécaniquement, en face d'un distributeur qui amène l'eau. On les fait tourner en sens inverse du mouvement que prendrait la turbine si on l'abandonnait à elle-même. Les aubes communiquent une grande vitesse à l'eau et la débitent en lames minces, qui se déversent par leurs bords, pendant qu'elles passent devant le distributeur. Ces lames d'eau sont lancées suivant l'axe de la trompe. Elles sont d'autant plus minces et se succèdent d'autant plus rapidement que les aubes de la turbine sont plus rapprochées.

La pompe à air ainsi constituée, lorsqu'elle n'entraîne pas d'air, ne laisse subsister dans son enveloppe qu'une pression égale à la tension de vapeur de l'eau qui la traverse. Une pompe de ce système, alimentée par de l'eau à 10°, permet de maintenir dans un condenseur, à la température de 30°, une pression de 30^{mm} de mercure, en enlevant 625^g d'air par heure et par cheval de puissance absorbée.

Ces pompes sont très simples, puisqu'elles ne comportent qu'une roue mobile. Elles aspirent leur eau; on les amorce avec un éjecteur à vapeur, dont on interrompt le fonctionnement dès que la pompe est amorcée.

Elles conviennent très bien pour les condenseurs à surface. On peut les transformer en condenseurs à mélange, en y faisant déboucher la conduite d'échappement des machines à vapeur. Elles absorbent alors environ 50 pour 100 de la puissance totale disponible.

En les combinant avec une pompe centrifuge, qui extrait l'eau de condensation, et en ne leur faisant enlever que l'air, on a pu réaliser des condenseurs à mélange produisant le même vide que les condenseurs à surface, à égalité de travail dépensé. On facilite l'action de la pompe en utilisant, dans la chambre de condensation, la force vive de la vapeur et de l'eau pour produire une première compression de l'air. Ces condenseurs supportent ainsi les mêmes rentrées d'air que les condenseurs munis de pompes

à piston, sans prendre plus de travail. La pompe centrifuge et la pompe à air sont montées sur le même arbre et logées dans le même carter.

Transformation du phosphore dissous; par M. COLSON. — Dans des recherches antérieures, M. Colson a constaté que les sulfates chromiques verts répondant à la constitution normale $\text{Cr}^2(\text{SO}^4)^3$ ont le même pouvoir cryoscopique, quel que soit leur degré d'ionisation, à l'encontre des chlorures alcalins; mais ce pouvoir est deux fois moindre au début qu'au lendemain de la dissolution, comme si la molécule initiale affectait la forme condensée $[\text{Cr}^2(\text{SO}^4)^3]^2$. Dans le but de comparer ces deux états salins aux deux variétés de phosphore, M. Colson a cherché si l'essence de térébenthine est ou non un dissolvant commun à ces deux variétés. L'expérience a été négative, quoique la température ait été portée à 270° .

L'insolubilité du phosphore rouge dans le térébenthène, jointe à l'irréversibilité du changement d'état, a conduit alors M. Colson à chercher un mode facile de transformation totale du phosphore blanc en variété rouge, basé sur le chauffage des dissolutions de phosphore blanc. Il a constaté que la présence de l'essence ralentit au contraire la transformation: elle ne commence pas avant 4 heures de chauffe vers 285° , et pas avant 50 heures vers 250° , pour une solution à 25^g par litre. Elle est beaucoup plus lente encore pour une solution à 12^g par litre. C'est, à la vitesse près, l'allure de la transformation du phosphore pur en vapeur, et un tel rapprochement pourrait servir de conclusion aux recherches de M. Colson.

Toutefois, si l'on songe que le phosphore blanc est un corps parfaitement défini et capable d'affecter les trois états successifs: liquide, solide et gazeux, on est conduit à se demander pourquoi ce corps ne se conserve pas indéfiniment. Sans doute, au-dessous de 300° la pression osmotique du phosphore rouge, comme sa tension de vapeur, est nulle: on vient de le voir. Mais, si cette raison est la cause du faux équilibre, pourquoi faut-il une longue préparation de 50 heures pour déterminer la cessation de cet état instable?

La sursaturation est un type de faux équilibre qui est détruit de la même façon quel que soit le solvant, et qui, une fois ébranlé, se défait totalement et irrésistiblement. Tout autre est le cas du phosphore: la température qui provoque la transformation n'agit pas identiquement sur toutes les dissolutions; puis, quand le décalage est effectué, la vitesse de transformation croît et diminue ensuite considérablement; de sorte que le phénomène d'allotropie n'a pas l'allure du phénomène physique.

C'est qu'en effet la transformation du phosphore dissous est un phénomène chimique, dévoilé déjà par la préparation de 50 heures à 255° dont il a été parlé. La température agit, non pour permettre un glissement des molécules comme dans les corps sursaturés, mais pour produire un composé phosphoré P^2H^4 , par exemple, qui, à un état de concentration suffisant, se décompose en phosphore rouge et hydrogène. Ce gaz naissant rencontre le phosphore blanc dissous et régénère P^2H^4 indéfiniment. Au début, il y a peu d'hydrogène; à la fin, il reste peu de phosphore dissous; de là les variations de vitesse.

Si cette explication est exacte, une petite quantité de phosphore ajoutée au liquide provoquera une transformation rapide; d'autre part, le phosphore rouge déposé sera toujours imprégné de phosphures; enfin, un dissolvant oxygéné qui oriente l'affinité du phosphore blanc vers l'oxygène doit empêcher la transformation. Ces trois prévisions ont été sanctionnées par les expériences de M. Colson.

Les composés hydrogénés ne sont pas seuls capables de produire la transformation. Le rôle des composés iodés est déjà connu, et celui des composés sulfurés est probable; mais il semble bien que, du moins à

l'état dissous, la molécule de phosphore ordinaire ne passe à l'état de molécule rouge que par l'intermédiaire de composés complexes, et non pas directement par un mécanisme de glissement moléculaire.

SÉANCE DU 3 AVRIL 1908.

PRÉSIDENT DE M. DESLANDRES.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 mars est lu et adopté.

Les personnes qui ont été présentées dans la dernière séance sont élues Membres de la Société.

Les personnes dont les noms suivent sont présentées pour être Membres de la Société. Il sera statué sur leur admission dans la séance du 1^{er} mai.

MM. CALZECCHI (Temistocle), Professeur au « R. Liceo Cesare », à Beccaria (Italia).

FISCHER (Albert-Louis), Associate Physicists, U. S., Bureau of Standards, Washington (Etats-Unis).

NIEWENGLOWSKI (D^r S.-H.), Professeur au Lycée Carnot, Le Kram (Tunisie).

RUSSENBERGER, Docteur ès sciences de l'Université de Paris, à Genève (Suisse).

VAILLANT (Pierre), Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Grenoble.

VLES (Fréd.), Préparateur à la Faculté des Sciences de Paris.

M. le Président annonce les pertes douloureuses que la Société vient de faire en les personnes de M. COUPIER et de M. Eugène LEFEBVRE, Professeur honoraire au Lycée de Versailles.

Sur un compas électromagnétique pour blockhaus cuirassés et sous-marins, par M. Louis DUNOYER. — Dans le blockhaus cuirassé où le commandant d'un navire se tient pendant le combat et d'où il dirige, par des appareils de transmission, la manœuvre et le tir de son bâtiment, il est à peu près indispensable qu'il sache : 1^o la route qu'il suit ; 2^o le point où il en est d'une évolution d'escadre pour la bonne exécution de laquelle il est nécessaire que chaque unité arrive à son poste sans le dépasser.

Mais les indications de l'aiguille aimantée ou compas y sont à peu près inutilisables. Si grandes que soient les perturbations que produisent les masses d'acier et de fer avoisinant le compas, on peut, théoriquement du moins, les compenser au moyen de masses de fer doux et d'aimants convenablement placés. Mais dans les blockhaus, d'une épaisseur de 15^{cm} à 25^{cm}, la rarefaction des lignes de force est si grande, que le champ compensé qui dirige la boussole est très faible ; le plus léger frottement du pivot sur la chape la rend à peu près insensible.

On a essayé de remédier à cet inconvénient, soit en employant des compas possédant un grand moment magnétique, qui sont alors nécessairement des compas liquides, soit en transmettant dans les blockhaus les indications d'un compas placé à l'extérieur. Les compas liquides ont l'inconvénient de subir un entraînement plus ou moins sensible quand le navire évolue. Les systèmes proposés pour la transmission des indications

d'un compas ne présentent aucun avantage spécial au point de vue de la compensation, dont la pratique est au contraire extrêmement facilitée avec l'appareil que présente M. Dunoyer.

Un navire quelconque, un transatlantique par exemple, appelé à naviguer pendant plusieurs jours dans des parages brumeux, ou un navire de guerre dont l'état magnétique a été modifié par un combat, doit pouvoir rectifier sa compensation, *rapidement et sans faire d'observations astronomiques ou géographiques* qui nécessitent des conditions atmosphériques favorables. Ce problème a été résolu pour les compas magnétiques par Lord Kelvin, qui a imaginé pour cela le *défecteur*; mais son emploi s'est peu répandu, car il est très difficile à la mer. L'appareil présenté permet de résoudre aussi ce problème d'une manière complète et très simple.

Il se compose d'une bobine d'axe horizontal montée sur un axe vertical pouvant recevoir un mouvement de rotation rapide au moyen d'un petit moteur suffisamment éloigné; sur cette bobine sont enroulés deux circuits identiques dont les extrémités sont reliées respectivement aux deux demi-bagues d'un collecteur formé d'un anneau métallique coupé aux extrémités d'un même diamètre; les deux collecteurs, isolés l'un de l'autre, sont identiques et montés sur l'axe vertical de rotation. Deux paires de balais frottent sur eux en des points de contact situés aux extrémités de deux diamètres rectangulaires, dont l'un est parallèle au plan de symétrie longitudinal du navire; chaque paire est reliée à un galvanomètre situé dans l'appareil récepteur; les deux galvanomètres ont leurs axes perpendiculaires et sont munis de miroirs qui forment sur une glace dépolie les images de deux traits lumineux perpendiculaires entre eux, se croisant au centre de la glace dépolie où ils figurent deux axes Ox et Oy . Quand la bobine du *transmetteur* est en mouvement, les deux traits se déplacent et viennent en des positions Ox' , Oy' ; on montre que *le vecteur OO' est équilibré au champ magnétique au centre du transmetteur*. On connaît donc à la fois la direction du champ et son intensité.

On place le *transmetteur* en un endroit protégé, mais possédant cependant un champ moyen aussi intense que possible. Le *récepteur* est placé sous les yeux du commandant.

Quand le navire fait un tour d'horizon, on montre que le point de croisement des traits lumineux décrit sur la glace dépolie le dygogramme elliptique du commandant Guyou. Après avoir fait tourner le *transmetteur* tout entier d'un angle égal à l'angle du grand axe de l'ellipse avec Ox , ce qui rétablit la symétrie apparente des fers doux, par rapport au transmetteur, un second tour d'horizon donne une ellipse à axes parallèles aux axes de coordonnées. Pour achever la compensation on peut alors employer deux procédés :

1° Si L et M sont les axes de l'ellipse, le rapport $\frac{L - M}{L + M}$ fournit, au moyen de la table du commandant Guyou, la distance à laquelle il faut placer des correcteurs de fer doux d'un rayon donné. Une fois qu'ils sont placés, un nouveau tour d'horizon donne un cercle de centre Ω ; on le centre sur la rose en plaçant des aimants longitudinaux et transversaux.

2° On centre l'ellipse sur la rose en décalant les positions de zéro des galvanomètres de manière qu'elles se coupent au point symétrique du centre de l'ellipse par rapport au centre de la rose. On introduit alors dans le circuit d'un des galvanomètres une résistance convenable pour que le grand axe de l'ellipse devienne égal au petit axe.

Cette méthode est la plus rapide, puisqu'elle n'exige que deux tours d'horizon et des opérations simples qui se font dans le récepteur lui-même. On peut ainsi obtenir la compensation complète en quelques minutes.

Des expériences et des projections sont faites pour vérifier ces principes.

Téléstéréographe, par M. Édouard BELIN. — Le principe du nouvel appareil de téléphotographie, présenté par M. Edouard Belin, est l'utilisation du relief que présentent certaines épreuves photographiques établies dans des conditions déterminées. Celles qu'on obtient, ainsi, le plus facilement, sont les épreuves à la gélatine bichromatée, plus généralement connues sous le nom de *photographies au charbon*. En exagérant, volontairement, l'épaisseur de la couche, on obtient, même après complet séchage, des épreuves à saillies accentuées, où les parties les plus élevées correspondent aux grandes transparences du cliché original et les parties les plus profondes, aux grands noirs. C'est ce principe d'utilisation des reliefs qui a fait donner à l'appareil le nom de *téléstéréographe*.

Bien qu'un même poste puisse fonctionner à volonté, soit comme transmetteur, soit comme récepteur, il paraît plus logique pour la démonstration d'étudier successivement chacune de ces deux dispositions.

Au poste transmetteur, l'épreuve photographique en relief est fixée sur un cylindre qui tourne d'un mouvement uniforme. Un saphir qui s'appuie sur ce cylindre imprime, à un levier, des mouvements dont l'amplitude correspond exactement à la hauteur des reliefs. A l'extrémité du grand bras de ce levier, un curseur se déplace sur un rhéostat minuscule et, par ses mouvements intercale sur la ligne un nombre variable de bobines. De cette manière, l'intensité du courant de ligne est toujours proportionnelle à la hauteur du relief et, par suite, à la transparence du point correspondant du cliché original.

Au poste récepteur, les variations d'intensité du courant de ligne sont traduites par les déviations d'un galvanomètre suffisamment sensible et aussi rapide que possible. L'oscillographe de M. Blondel répond parfaitement bien à ces conditions. Une source lumineuse fixe fait converger ses rayons sur le miroir de l'oscillographe, et les rayons réfléchis viennent, après leur passage dans une lentille convergente aplanétique, concourir en un point, foyer conjugué du miroir et où se déplace la préparation sensible à impressionner. Cette préparation, pellicule ou papier, est enroulée sur un cylindre de même dimension que celui de départ et tournant synchroniquement avec lui. Ce cylindre est enfermé dans une boîte étanche à la lumière et le faisceau convergent ne peut frapper la surface sensible qu'à travers une ouverture dont le diamètre correspond exactement à l'écartement de deux lignes, de manière à donner une teinte pleine.

Bien que la perte de lumière par réflexion sur la face antérieure de la lentille, lorsque le faisceau incident se déplace du centre au bord, suffise pour faire décroître son action photographique au point de donner une image, l'appareil actuel comporte une gamme de teintes établie sur verre où l'opacité décroît régulièrement et, suivant une loi déterminée, du noir pur à la transparence absolue. Cette gamme est placée devant la lentille dont elle n'occupe qu'un rayon, et le faisceau lumineux, réfléchi par l'oscillographe, s'éteint ainsi de manière convenable en traduisant, par des actions photographiques variables, les variations d'intensité du courant de ligne.

L'appareil construit comporte six lignes au millimètre et donne une épreuve 13×18 à l'arrivée, d'après une épreuve de même format au départ. La durée de transmission sur des circuits réels, lignes téléphoniques à deux conducteurs de cuivre, a été, pour des distances approchant de 2000^{km} , de 22 minutes. Elle sera sans doute, prochainement, considérablement réduite.

Indépendamment des conditions de fonctionnement exposées ci-dessus, il convient de remarquer qu'un retournement de la gamme de teintes entraîne un changement de sens de l'image si l'on a soin de déplacer l'oscillographe, de manière à explorer l'autre moitié de la lentille.

La substitution, à la gamme normale, d'une gamme plus heurtée, renforce les épreuves, tandis qu'une gamme grise les affaiblit. En dépla-

çant la gamme de teintes parallèlement à elle-même, on change le temps de pose des épreuves sans altérer leur gradation.

Enfin, pour la reproduction des épreuves de trait, de l'écriture ou de la simili-gravure, on peut supprimer le rhéostat et se servir d'un dispositif jouant le rôle d'interrupteur et fonctionnant sous l'action des saillies du tracé de départ, comme fonctionne un manipulateur Morse sous l'action de la main. Un microphone convenablement réglé répond au même but en se prêtant à une plus grande rapidité. L'appareil fonctionne alors dans les mêmes conditions qu'un télégraphe.

Sur quelques appareils pour la transmission à distance des dessins et photographies; par J. BLONDIN. — 1. Parmi les appareils récemment imaginés, M. Blondin signale particulièrement le *télé-autographe Carbone*.

Au poste transmetteur se trouve un cylindre métallique sur lequel est enroulé le dessin ou la photographie à transmettre; le cylindre est relié à l'un des pôles d'une pile; un style frottant sur le dessin est en communication avec l'un des fils de transmission. Au poste récepteur est un second cylindre animé d'un mouvement synchrone à celui du premier et sur lequel est enroulée une feuille métallique (plomb, étain, aluminium, cuivre), ou une feuille de gélatine, de celluloid, ou simplement quelques feuilles de papier blanc séparées par du papier carbone; sur cette feuille vient appuyer un poinçon fixé au centre de la membrane d'un téléphone relié à la ligne de transmission.

On conçoit que toute variation de l'intensité du courant transmis se traduit par un mouvement de la membrane téléphonique, dont le poinçon appuie plus ou moins fortement sur la feuille recouvrant le cylindre récepteur. Pour la transmission des dessins ou de l'écriture, il suffit que ces dessins ou écriture soient reportés, photographiquement ou par tout autre procédé, en traits isolants sur une feuille conductrice qu'on enroule sur le cylindre transmetteur. Pour la transmission des photographies et la reproduction des demi-teintes qu'elles présentent, M. Carbone dit employer divers procédés sur lesquels il ne peut fournir de renseignements détaillés; l'un d'eux consisterait à utiliser les variations de conductibilité électrique que présentent les différentes régions d'une épreuve photographique. Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus sont tout à fait satisfaisants, comme le montrent quelques photographies gravées sur gélatine (qui sont projetées en séance) et quelques photographies gravées sur celluloid, les unes et les autres obligeamment envoyées par M. Carbone.

La rapidité de transmission que permet d'obtenir ce procédé est à signaler. Dans des essais officiels, faits le 1^{er} mars 1907, sur la ligne Bruxelles-Anvers et retour (90^m), un portrait du roi Léopold, de 9^{cm} × 18^{cm}, a été transmis en 80 secondes; l'inventeur est d'ailleurs parvenu à des résultats encore meilleurs, car actuellement il estime pouvoir graver une surface de 200^{cm}² en 1 minute.

Cette rapidité de transmission permet au système Carbone de se placer en tête des appareils télégraphiques les plus rapides. Une page d'un journal quotidien renfermant 30000 lettres, soit environ 5000 mots, peut, après avoir été réduite photographiquement, être transmise en 1 minute. Cela correspond, si l'on ne compte pas le temps nécessaire à la préparation du télégramme ni à l'agrandissement du télégramme reçu, à une vitesse de transmission de 30000 mots à l'heure, bien supérieure à celle du Pollak-Virag qui peut cependant transmettre 45000 mots à l'heure.

2. Dans le *téléphotographe Berjonneau*, la photographie à transmettre est d'abord convertie en un cliché de simili-gravure analogue à ceux qu'on emploie dans l'impression. On obtient ainsi un véritable dessin par points

sur feuille métallique, les parties claires se distinguant des parties foncées par une moins ou plus grande densité des points. Ce cliché étant enroulé sur un cylindre tournant, relié à un pôle d'une pile, et un style relié à une ligne télégraphique étant appuyé sur le cliché, on obtient une série d'inter-ruptions de courant plus ou moins rapides. Au poste récepteur, un galvanomètre ouvre plus ou moins, suivant l'intensité moyenne du courant transmis, un obturateur interposé entre une source lumineuse et une pellicule photographique enroulée sur un cylindre tournant synchroniquement avec le cylindre transmetteur.

M Blondin n'a pu se rendre compte des résultats obtenus par ce procédé, l'inventeur ne lui ayant pas montré ses appareils et ne l'ayant pas convié, bien qu'il lui en eût fait la demande, aux essais qui ont lieu actuellement.

3. M. Blondin indique très rapidement les principes de quelques autres appareils téléphotographiques qui semblent n'avoir pas encore donné lieu à une réalisation pratique : le *système Senlecq-Tival*, qui utilise les variations de conductibilité des épreuves photographiques sur gélatine bichromatée et imprégnée de poudres métalliques; le *système Rodolfo Leonardi*, qui ne diffère du système Belin que par le procédé employé pour faire varier la résistance; le *système Guillen Garcia*, qui emploie les ondes hertziennes comme agent de transmission, etc.

SÉANCE ANNUELLE.

JEUDI 23 ET VENDREDI 24 AVRIL 1908,
à 8 heures du soir.

EXPOSITION.

Le courant continu fourni aux Exposants est produit par un groupe électrogène à pétrole d'une puissance de 24 chevaux de la **Société anonyme des anciens Etablissements Panhard et Levassor** et distribué par des accumulateurs de **M. Alfred Dinin**.

Rhéographe de projection **Abraham-Carpentier**..... **M. Henri Abraham**.

Matériel colonial transportable **Ancel** pour rayons X et télégraphie sans fil (générateur seul), composé d'une dynamo de 12 volts et 5 ampères, et d'une bobine coloniale système **Ancel** de 15^{cm} d'étincelle, entièrement renfermée dans une caisse à panneaux mobiles. — Bobine unipolaire **Ancel** de 25^{cm} d'étincelle, nouveau modèle vertical, avec condensateur et sans rupteur, pour télégraphie sans fil. — Interrupteur rotatif **Ancel** à contacts multiples cuivre sur cuivre dans le pétrole fonctionnant sous 110 volts, muni d'un godet à robinet permettant la vidange du pétrole en marche et actionnant la bobine précédente de 25^{cm} d'étincelle. — Récepteur de télégraphie sans fil, système **Ancel**, dernier modèle à cohéreur réglable et décoherage automatique. — Nouveau récepteur à sélénium dans le vide, système **Ruhmer**, pour radiophonie et téléphonie sans fil, muni d'un réflecteur argenté. — Nouveau modèle de récepteur à sélénium linéaire de **Ruhmer**. — Récepteurs au son pour télégraphie sans fil, système **Ancel** : 1^o avec détecteur électrolytique; 2^o avec détecteur électromagnétique. — Thermophone, système **Ancel**..... **M. Louis Ancel**.

- Unification des filetages des vis au-dessous de 6^{mm}. — Calibres. — Tampons. — Gabarits pour la vérification des pièces finies. — Jeu d'orgue pour théâtre..... **Appareillage électrique Grivolaz.**
- Appareil pour la distribution par fractionnement cinématographique d'une image mobile en vue de la transmission de la vision à distance **M. Armengaud jeune.**
- Appareil de haute fréquence intensif unipolaire du **D^r Gautier**. — Transformateurs à haute tension à circuit magnétique fermé et grand isolement pour haute fréquence et télégraphie sans fil. — Résonnateur **Oudin**, grand modèle. — Bouteilles de **Leyde**, modèle spécial pour hautes tensions. — Condensateur à plaques en cuve à liquide isolant, modèle transportable. — Oscillateur en vase clos, démontable, et rhéotomes de sûreté pour étincelles de haute fréquence. — Nouvel interrupteur rotatif à mercure à circulation de gaz sans liquide isolant. — Godet à mercure à circulation de gaz. — Interrupteur double à mercure du **D^r Durand**. — Interrupteur à mercure du **D^r Bosquain**, permettant d'actionner les bobines de **Ruhmkorff** directement sur le courant alternatif. — Dispositif d'accord par spirales radio-inductrices à réglage et accouplement variable pour récepteur de T. S. F. — Nouveaux récepteurs téléphoniques légers à réglage à grande résistance pour télégraphie et téléphonie sans fil. — Postes téléphoniques haut-parleurs, nouveaux modèles étanches, type marine. — Nouveau combinateur **E. Ducretet** pour réseaux téléphoniques haut-parleurs. — Télémicrophonographe **Ducretet**. — Electromètre absolu du professeur **Salmon**. — Appareil du professeur **Boitel** pour l'inscription des mouvements alternatifs. — Transformateurs électrolytiques **O. de Faria**, nouveaux modèles, pour le redressement du courant alternatif..... **Ateliers E. Ducretet. MM. F. Ducretet et E. Roger. Succ^{rs}.**
- Moteur alternatif monophasé à collecteur, système **Latour**.. **Ateliers Thomson-Houston.**
- Lampe à pétrole à brûleur **Roger**..... **M. Bardeau.**
- Appareils divers..... **M. Berlemon.**
- Expériences avec la pompe **Gaede** pour l'obtention rapide des vides élevés..... **M. R. Bernoulli.**
- Photomètre-euxmètre de **M. A. Blondel**, construit par **MM. Goudet et Delagrange**..... **M. A. Blondel.**
- Nouveaux écrans colorés de **M. C. E. K.** pour photomicrographie. — Spectrogrammes sur plaques panchromatiques **Wratten et Wainwright** des principaux colorants employés en micrographie et des écrans colorés correspondants; résultats pratiques. — Nouveaux écrans colorés pour photographie trichrome sur plaques panchromatiques **Wratten et Wainwright**. — Copies de réseaux de diffraction. — Réseaux annulaires (1800 et 5000 lignes au pouce). — Réseaux à zones annulaires de **Wood**, à foyer unique, fonctionnant comme une lentille convergente. — Réseaux plans. — Spectroscopes et spectrographes divers, etc..... **M. H. Calmels.**
- Spécimens de télé-autogravure..... **M. Carboneille.**
- Expériences pour la théorie de l'aviation..... **M. de Carlshausen.**

Électrodynamomètre absolu Pellat-Carpentier. — Bobine d'induction de 1^m,25 d'étincelle (enroulement **Klingelfuss**). — Rhéographe **Abraham-Carpentier** (modèle 1908). — Boîte pour la mesure des petites capacités. — Boîte de contrôle de précision. — Galvanomètre **Abraham** pour courants alternatifs. — Pyromètres, voltmètres et ampèremètres industriels. — Nouveaux modèles de rupteurs **J. G.**, pour bobines d'induction. — Bobines d'allumage pour moteurs à explosion. — Poste phototélégraphique (procédé **Korn**). — Boussole électromagnétique **Dunoyer**. — Appareils de radiotélégraphie. — Ondemètre, décrémenteur et bolomètre **Tissot**. — Règlette **Garnier**. — Appareils de transmission automatique pour télégraphe **Baudot**. **M. J. Carpentier.**

Perfectionnements aux machines à calculer **MM. Château frères et C^{ie}.**

Ampèremètre et voltmètre étalons pour courants continus. — Nouveaux électrodynamomètres et wattmètres pour tableaux et laboratoire pour courants continus et alternatifs. — Wattmètre calorique et multicalorique nouveau modèle. — Wattmètre enregistreur pour traction avec enrouleur de papier. — Electromètre haute tension. — Pyromètres thermo-électriques industriels à cadran et enregistreurs. — Modèles enregistreurs sensibles. — Distributeur de courants pour galvanomètres. — Galvanomètres caloriques sensibles à suspension élastique. — Galvanomètre à miroir extra-sensible. — Jumelles de projection et de laboratoire. — Milliampèremètres isolés pour tubes de Crookes. — Transformateurs à couplages. — Pont de Wheatstone à curseurs. — Baromètres enregistreurs. — Tachymètres enregistreurs. — Compteurs d'essence. — Odotachymètre **MM. Chauvin et Arnoux.**

Dévolteur à eau permettant d'employer le courant des distributions d'électricité (secteurs) au fonctionnement d'appareils construits pour bas voltage. **M. E. Chomeau.**

Four à très haute température, 2200°, chauffé au gaz et à l'oxygène. **MM. G. Claude et G. Meker.**

Éclairage à fond noir pour ultra-microscope. — Nouvel oculaire microphotographique. **MM. Cogit et C^{ie}.**

Dispositif de réclame par projection lumineuse sur le trottoir. **M. Conti.**

Instruments divers pour tableaux et mesures volantes (voltmètres, ampèremètres, wattmètres, appareils enregistreurs), phasemètre, indicateur de synchronisme, électromètre direct de 15000 volts, électromètre portatif de 3000 à 50000 volts, appareil pour la mesure des joints de rails, électromètre à quadrants, système **Moulin, pyromètre **Fery**, fluxmètre **Grassot**, compteurs divers (Electricité)** **C^{ie} pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz.**

Album de 30 planches gravées présentant plus de 600 dessins tracés par le campylographe. **M. Marc Dechevrens.**

Un système de miroirs de Fresnel. — Ampèremètre. **M. L. Descombes.**

Accumulateurs électriques transportables et de traction de haute capacité. — Batteries de tension. — Batteries médicales. **M. Alfred Dinin.**

Nouvel interrupteur fonctionnant indifféremment sur courant alternatif ou continu	M. L. Drault.
Nouvelles ampoules pour la radiographie.....	M. Drissler.
Boussole électromagnétique.....	M. L. Dunoyer.
Photographie en relief.....	M. E. Estanave
Pendule électrique sans lien matériel. — Photomètre à lecture directe.....	M. Ch. Féry
Indication, enregistrement et régulation de la température à distance.....	M. Fournier
Servo-moteur électrique à dilatation (applications : enseignes lumineuses, jeux de lumière). — Fours électriques et objets obtenus dans les fours à arc Gabreau à mouvement de rotation de montée et de descente.....	M. Ed. Gabreau.
Appareil électromécanothérapie utilisant le « wave current » du professeur W.-J. Morton. — Appareil électromécanothérapie universel du D ^r Bordet. — Compresseur du D ^r Belot. — Appareils d'aérothermothérapie. — La radiographie extra-rapide avec l'autonome intensif de Gaiße. — Transformateur Gaiße-Rochefort. — Radiographie stéréoscopique par la méthode des réseaux, procédés de M. Estanave, breveté S. G. D. G. — Milliampèremètre pour appareil d'induction. — Appareil pour la cautérisation froide, système Forest	M. G. Gaiße.
Un double allumage pour moteur à explosion caractérisé par la suppression de toute rupture dans la magnéto, cette rupture étant reportée sur un distributeur permettant d'avoir deux allumages : un par magnéto seulement et l'autre par bobine et pile sèche.. ..	M. L. Gianoli.
Quelques appareils de chauffage. — Nouvelle série d'étuves de laboratoire.....	M. G. Goisot.
Dispositif à tubes capillaires en silice, destiné à donner les spectres d'étincelles des solutions exempts de raies dues aux électrodes ou au verre.....	M. A. de Gramont.
Appareils eudiométriques et grisométriques. — Application à la recherche et au dosage des gaz combustibles et du formène en particulier	M. Gréhan.
Pendule 400 jours, marchant un an sans être remontée.....	M. Grivolat.
Appareil ozoneur pour salles d'hôpital et chambre de malade.....	M. J. Guenet
Nouveaux instruments de mesure. — Appareillage de haute et basse tension. — Nouveaux instruments de physique. — Appareils pour la radiographie instantanée. — Appareils électro-médicaux. — Lampe Jupiter pour la Photographie	M. Heller (Richard-Ch.).
Appareil de M. Goasguen pour mesurer la force centrifuge. — Appareil de M. Goasguen pour montrer la propagation des vibrations longitudinales et le mouvement vibratoire dans une colonne élastique (tuyau par exemple).....	M. E. Henry.
Pyromètre à écoulement de gaz.....	M. A. Job.

- Lampe à arc pour projection. — Modèles de récepteurs électrolytiques pour la télégraphie sans fil construit sur les indications de M. P. Jegou.....** M. L. Korsten.
- Localisateur avec diaphragme, et pouvant être utilisé comme compresseur. — Transformateur marchant directement sur courant alternatif pour la production des rayons X et des courants de haute fréquence. — Dispositif d'après le Dr Klynens, d'Anvers, pour l'utilisation du radiochromomètre de Benoist. — Appareil multiplex. — Appareils complets de mécanothérapie.....** MM. J. Lacoste et C^{ie}
- Série de 10 diapasons montés sur caisses sonores formant la série des harmoniques de *ut*, 256 v. s. — Série de 10 résonnateurs sphériques de Helmholtz. — Tube à gaz, d'après Rubens, avec membrane à tension variable et supports en fer. — Appareil de Melde avec diapason électrique. — Diapasons, chronographes électriques.....** M. J. Lancelot.
- Photographies de croissances osmotiques. — Microphotographies de structure de croissances osmotiques.....** M. S. Leduc.
- Rhéostat « Enallax-ohm » du Dr Nicolétis, appareil électrique produisant des courants enallaxotomes totalement indolores, pour l'usage de la thérapeutique médicale. — Nouvel appareil de protection et de localisation pour rayons X.....** M. Lézy.
- Photographie des couleurs par les plaques autochromes....** MM. Lumière.
- Transformateur à haute tension pour les rayons X, les courants de haute fréquence et les usages généraux de la haute tension. — Pour les rayons X, appareillage sans interrupteur marchant directement sur les secteurs alternatifs. — Pour la haute fréquence : appareillage à grande puissance monopolaire, avec dispositif spécial pour l'effluvation et l'étincelle intense bipolaire. — Résonnateur et appareil multipolaire à haute fréquence permettant l'effluvation localisée multipolaire. — Appareil mesurant l'énergie cinétique des rayons X par les variations de conduction dues aux effets d'ionisation. — Interrupteur à jet de mercure sous le gaz marchant sous tous voltages pour courant continu à vitesse et intensité variables.....** MM. Malaquin et Charbonneau.
- Photographies des vibrations de la voix.....** M. Marage.
- Four à tube à haute température (1600°), chauffé au gaz. — Four G. Claude et G. Meker à très haute température (2000°) chauffé au gaz et à l'oxygène. — Fours divers. — Brûleurs à éclairage intensif au gaz et à l'oxygène.....** M. G. Meker.
- Appareil permettant de puiser les gaz et de les doser par la méthode de la limite d'inflammabilité applicable également aux liquides volatils inflammables (construit par M. Fontaine). — Lampe réalisant la combustion sans flamme par un disque de nickel et permettant d'allumer une flamme à l'extrémité d'une tige métallique.....** M. Meunier.
- Sextant à niveau de MM. de la Baume-Pluvinel, Mix et Kannapell, construit par MM. Ponthus et Terrode.....** M. Mix.
- Nouveau dispositif de machine Morin.....** M. P. Morin.
- Condensateur pour mesures électrostatiques.....** MM. M. Moulin et Beaudouin.

Microscopes avec appareils d'éclairage à fond noir pour les observations ultramicroscopiques avec les objectifs forts à immersion. — Appareil pour photographies microscopiques donnant les effets stéréoscopiques de MM. Quidor et Nachet..... M. A. Nachet.

Miroir en métal spécial de 25^{cm}. — Galvanomètre double de M. H. Le Chatelier, avec chambre photographique de 13 × 18, pour l'étude des points critiques. — Pyromètre optique de M. Ch. Féry. — Electromètre optique, muni d'un amortisseur à air, de M. Malclès. — Microscope de M. Ph. Pellin, pour la mesure de l'empreinte des billes (méthode de Brinzel)..... M. Ph. Pellin.

Viscosimètre d'Engler modifié par Ragosine. — Viscosimètre simplifié de MM. de Grobert et Démichel. — Automètre Axel Holmström. — Défecteur Démichel. — Hydrotachymètre de poche Ritter. — Thermo-éléomètre de M. F. Jean. — Appareil de Lémoult pour la puissance calorifique des gaz. — Hygromètre à 6 cheveux. — Pyromètre à résistance de Heraeus. — Talcomètre de Lavoux. — Lampe médicale à mercure. — Analyseur enregistreur de M. Brenot pour doser l'acide carbonique contenu dans les gaz des foyers.. MM. Poulenx frères.

1. *Médecine*. — Matériel radiographique transportable, à l'usage de l'armée et de la marine. — Trois modèles définitifs de pupitres électrothérapiques du Dr Guilleminot, permettant les applications médicales et l'électrodiagnostic par le courant sous toutes ses formes. — Nouveau modèle de cadre orthodiagraphique du Dr Guilleminot, dispositif de commande donnant, avec l'usage d'une seule main et l'emploi d'une seule manette, les déplacements de l'ampoule en tous sens. — Rythmeur métallique permettant d'interrompre ou d'onduler toutes les formes de courants employés en électrotechnique. « L'Hermétique », interrupteur rapide sans mercure pour bobines d'induction. Dispositif stroboscopique donnant l'évaluation de la fréquence des interruptions. — Appareillage du Dr Guilleminot pour l'M-quantitométrie des rayons X. — Réducteur-ohmmètre à lecture directe pour l'électrodiagnostic. Eclateur de haute fréquence (à condensateurs de Mosciki). Transformateur de haute tension. — 2. *Projections*. — Appareil spécial pour la projection des vues en couleurs par le procédé Lumière. — Trichinoscope de projection, construit sur les données de M. Martel, chef des services d'inspection vétérinaire de la Seine. — Dispositif simple de projections microscopiques sans le secours de la lumière électrique. — Les microscopes de W. et A. Seibert. — Boîte de réflexion pour la projection des objets opaques ou transparents en position horizontale. — Petit projecteur à miroir pour utilisation, dans les laboratoires, d'un faisceau lumineux, à rayons divergents, convergents ou parallèles. — Polariscope de projection pour démonstrations élémentaires. — 3. *Enseignement technique*. — Pièces détachées de mécanique. — Collection de plans pour la construction de machines en réduction. — Modèles de locomobile et de la machine P.-L.-M. « Coupe-vent », construits par M. Mune-
relle.....

MM. Radiguet et
Massiot.

Nouvel appareil intermittent automatique pour la publicité lumineuse par l'électricité à une ou plusieurs couleurs. — Nouvel appareil intermittent pour la publicité lumineuse par le gaz pouvant se monter directement sur n'importe quel bec. — Appareil de MM. Mayer, Schaeffer et Terroine pour la filtration à travers les membranes. — Appareils divers.....

M. J. Regnier.

- Baromètre enregistreur à poids, petit modèle. — Baromètre altimétrique enregistreur de poche. — Nouveau modèle de girouette électrique à 128 directions. — Anémomètre totalisateur de moyennes retombant à zéro toutes les heures. — Girouette à transmission directe évitant les embardées. — Néphomètre à miroir hémisphérique, système de M. Besson, météorologiste à l'Observatoire de Montsouris. Néphoscope, système de M. Arcimis, directeur de l'Observatoire de Madrid. — Scrutateur en boîte étanche pour soutes à poudre. — Clinomètre indiquant la rotation des boucliers pendant leur avancement. — Indicateur du débit des liquides. — Compteur d'eau pour grands débits, système de M. Mesnager, comptant 200 l par minute. — Enregistreur chronophotographique. — Galvanomètre à miroir à grande sensibilité. — Ampèremètre à double sensibilité automatique. — Ampèremètre aperiodique enregistreur à papier sans fin défilant 60^{mm} à la minute. — Voltmètre thermique enregistreur papier sans fin, marchant un mois. — Appareil pour la mesure de la résistance des joints des rails. — Wattmètre double enregistreur. — Appareil pour la mesure et l'enregistrement de la vitesse des obturateurs photographiques. — Vérascopes, modèle 1908, muni d'objectifs travaillant à F:4,5 avec obturateur à rendement maximum et déclencheur « Chronomos ». — Modifications apportées au vérascopes pour la prise des vues stéréoscopiques en couleurs. — Vérascopes modifiés pour l'emploi des pellicules Films-Packs. — Taxiphote à court foyer optique et à court foyer mécanique. — Taxiphote nouveau modèle réduit et simplifié. — Projections des vues vérascopiques avec le taxiphote et la lanterne munie de l'arc électrique Richard à charbons rectangulaires, donnant l'utilisation maximum de la lumière. — Téléstéréographe, appareil transmettant les images à distance, système de M. E. Bélin M. Jules Richard.
- Applications nouvelles du tube de Pitot à l'établissement d'un appareil enregistreur du poids spécifique du gaz d'éclairage, et d'un injecteur dosimétrique automatique. — Plusieurs méthodes de détermination de l'eau liquide mécaniquement entraînée par la vapeur des chaudières. — Etat allotropique du plomb et oxydes correspondant à cet état. — Procédé de stérilisation catalytique de l'eau par le contact de l'argent métallique pur. — Nouvelle machine à écrire de l'A. E. G. M. Georges Rosset.
- Photochromies du spectre. — Franges d'interférences produites par les photochromies différentielles. — Coupes d'ondes stationnaires M. E. Rothé.
- Divers voltmètres et ampèremètres de tableaux. — Wattmètre enregistreur pour courant alternatif à enregistrement rectiligne. — Wattmètre de précision à lecture directe, système dynamométrique avec résistance additionnelle, placée dans l'intérieur de l'appareil. — Wattmètre de précision à lecture directe du même système, mais avec résistance séparée. — Résistance additionnelle pour wattmètres de précision, nouveau modèle. — Transformateur d'intensité nouveau modèle. — Millivolt-ampèremètre avec shunts séparés. — Petit appareil à ozone breveté spécial pour recherches de laboratoires. — Sirène électrique pour chemins de fer et autres emplois. — Nouvelle lampe Tantale de 16 bougies 110 volts consommant 1,5 watt par bougie. — Télégraphes imprimeurs appelés *téléscripteur* ou machine à écrire à distance, pouvant être manipulée par n'importe quelle personne MM. Rousselle et Tournaire.

- Nouveau modèle d'électromètre à torsion..... M. Salmon.
- Électroscope système Curie avec dispositif de M. Chénaveau pour la recherche des minerais radioactifs — Dispositifs de M. Laborde pour l'étude des eaux minérales et des gaz radioactifs. — Accessoires divers pour cette étude; appareil avec dispositif pour bouchage automatique; enceinte desséchante, etc..... Société centrale de Produits chimiques.
- Le chronophone mixte Société des Établissements Gaumont.
- Moteur synchrone à mise et accrochage faciles. — Disjoncteur automatique pour petites intensités remplaçant les plombs fusibles M. A. Soulier.
- Appareils de chauffage électriques pour laboratoires..... M. Spratt.
- Radioscléomètre de M. P. Villard. — Compteur d'intensité pour rayons X de M. P. Villard. — Appareil de M. Danne pour mesurer la radioactivité de l'atmosphère et des eaux. — Appareil de M. de Gramont à tubes de quartz pour analyse spectrale. — Tube à anticathode intensive. — Statoscope de M. Aubry modifié. — Actinomètre totalisateur enregistreur de M. Besson. — Electrodensimètre Benoist modifié..... M. J. Thorneysen.
- Condensateur Boucherot de 1 microfarad..... M. R. Varret.
- Balance spéciale dénommée « caromètre métrique », système J. Conti..... M. P. Velter.
- Nouvelle pile thermo-électrique « Dynaphor » (expériences diverses avec cette pile). — Piles sèches autorégénératrices. — Appareils de mesures électriques. — Accumulateurs. — Lampes à incandescence; bains de nickelage et galvanoplastie; appareils aux usages électromédicaux, d'électrochimie..... M. Wilh-Keil.
- Nouveaux électromètres bifilaires pour charges statiques.... M. P.-Th. Wulf.

RÉUNIONS DES 22, 23 ET 24 AVRIL 1908.

(VISITES.)

MERCREDI 22 AVRIL 1908,

Expériences d'aviation par M. HENRI FARMAN, au champ de manœuvres d'Issy-les-Moulineaux.

JEUDI 23 AVRIL,

Visite aux Établissements PANHARD et LEVASSOR.

COMMUNICATIONS.

JEUDI 23 AVRIL,

M. le D^r Otto REICHENHEIM, Collaborateur volontaire à l'Institut Physico-technique de l'Empire d'Allemagne :

Les rayons anodiques (recherches de MM. GEHRCKE et REICHENHEIM .

M. Charles MAURAIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen :

Les courbes anhystérétiques d'aimantation.

VENREDI 24 AVRIL,

M. Augusto RIGHI, Professeur à l'Université de Bologne :

Sur quelques phénomènes dus aux rencontres entre électrons, ions, atomes et molécules.

SÉANCE DU 1^{er} MAI 1908.

PRÉSIDENTE DE M. DESLANDRES.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 avril est lu et adopté.

Les personnes qui ont été présentées dans la dernière séance sont élues Membres de la Société.

Les personnes dont les noms suivent sont présentées pour être Membres de la Société. Il sera statué sur leur admission dans la séance du 15 mai.

MM. AUSTIN (L.-W.), Ph. D., Bureau of Standards, Washington, D. C. (États-Unis).

AUSCHER (Ernest), D^r en Médecine, à Paris.

BARJON (François), Médecin des Hôpitaux de Lyon.

BLAEVOET (l'abbé Henri), Etudiant en Sorbonne.

BOURLET (Carlo), Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, à Paris.

COBLENTZ (W.), Assistant Physicist, Bureau of Standards, Washington, D. C. (États-Unis).

DIXSAUT (Léon-Eugène), Professeur au Lycée de Reims.

GRATZMULLER, Ingénieur de la Société Thomson-Houston, à Paris.

HENRY (René), Ingénieur, Directeur technique des charbonnages du Hasard, à Liège (Belgique).

D'IVRY (Baron Jean), à Paris.

JAILLE (Marquis de La), à Paris.

KOUPRIANOFF (D.), Maître de Conférences au Laboratoire de Physique, Académie d'artillerie Michel, à Saint-Petersbourg (Russie).

KUNZ (Jakob), à Zurich (Suisse).

MARCHAND, Directeur de l'Observatoire du Pic du Midi.

NOGIER (Th.), Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine de Lyon.

PUGGIANTI (Luigi), Dotta di Fisic., Prof. al R. Istituto sup. di Magistere Femm., Libero Docente al R. Istituto di Studii sup. pratici e di Perfezionamento, Firenze (Italie).

ROLLET DE L'ISLE, Ingénieur hydrographe, à Paris.

SICAULT (Paul), Ingénieur, à Saint-Cloud.

SMAGGHE (Joseph-Louis), Professeur à l'Institution du Sacré-Cœur, à Tourcoing.

STROHL (Jean), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Le Cateau.

MM. RAY (Jagadingu), Lecturer Physical Science, Bengal National College, à Calcutta (Indes).

STCHEGLAYEFF (Jean), Assistant au Laboratoire de Physique de l'Institut polytechnique, à Saint-Petersbourg (Russie).

TALLQVIST (Axel-Henrik-Hjalmar), Professeur à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

VITTRANT (Michel), Professeur au Collège Notre-Dame de Bon-Secours, à Highlands (Jersey).

M. le PRÉSIDENT souhaite la bienvenue à M. ROSA, du Bureau des étalons de Washington.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL annonce la prochaine réunion des Congrès suivants :

Congrès de l'Association française pour l'avancement des Sciences.

— Le prochain Congrès aura lieu cette année à Clermont-Ferrand, au commencement du mois d'août.

Sir William Ramsay a accepté l'invitation, qui lui a été faite par l'Association, de venir faire au Congrès une conférence sur ses importantes recherches.

Tous les renseignements seront fournis au siège de l'Association, 28, rue Serpente, à Paris.

Les membres du Congrès profiteront de réductions de 50 pour 100 sur les tarifs des chemins de fer.

Congrès international des Industries frigorifiques. — Le premier Congrès aura lieu à Paris, au Grand Palais, à la fin du mois de septembre.

L'une des sections, présidée par M. d'Arsonval, s'occupera de questions relatives aux basses températures et à leurs effets généraux. MM. Dewar, Ramsay, Van der Waals, Kamerling Onnes, Linde, Georges Claude, Jean Becquerel en sont les rapporteurs.

Les membres du Congrès recevront plusieurs Volumes de Mémoires exposant l'état actuel des basses températures, tant au point de vue scientifique qu'au point de vue industriel.

Les membres du Congrès profiteront de réductions de 50 pour 100 sur les tarifs des chemins de fer.

M. le PRÉSIDENT annonce la perte douloureuse que la Société vient de faire en la personne de M. Eugène MEYLAN, ingénieur.

M. DUNOYER ajoute à sa communication du 3 avril sur un compas électromagnétique quelques indications relatives à son emploi sur les sous-marins.

Dans les blockhaus, la difficulté principale qui s'oppose à l'installation d'un compas magnétique réside dans la faiblesse du champ magnétique moyen qui s'y trouve. A bord des sous-marins la difficulté est d'un autre ordre : les dynamos motrices constituent des aimants perturbateurs puissants et difficilement compensables, puisqu'elles fonctionnent sous un régime de courant variable. Aussi les compas placés sur les sous-marins donnent-ils le plus souvent des indications assez vagues. Avec le nouveau compas, cette difficulté sera aisément tournée ; il suffira de mettre le transmetteur dans un tube de bronze de 1^m, 20 de longueur environ, émergeant de la coque du navire en un point convenable. Le récepteur, placé sous les yeux du commandant, sera relié au transmetteur simplement par six fils (quatre pour les galvanomètres et deux pour le moteur).

La méthode de *compensation sans correcteurs* de fers doux ou aimantés paraît devoir être particulièrement précieuse dans ce cas.

Pendule électrique sans lien matériel; par M. Ch. FÉRY. — La mesure précise du temps est un problème qui a toujours vivement intéressé les physiciens. La grande perfection à laquelle sont arrivés les échappements mécaniques fait supposer que peu de progrès restent à réaliser dans cette voie, tandis qu'au contraire les solutions électriques moins nombreuses présentent d'autre part certains avantages.

L'une des causes les plus généralement invoquées pour expliquer les petites variations diurnes, encore observées dans le pendule soustrait aux perturbations thermiques et barométriques, est l'inconstance du frottement de l'échappement. Le rancissement de l'huile de graissage et les variations d'état hygrométrique de l'air changent en effet le *rendement* du rouage qui ne transmet au pendule que 50 pour 100 environ du travail dû à la chute du poids moteur.

D'un autre côté, dans la plupart des pendules électriques, les contacts directement commandés par le système oscillant, et qui ne peuvent être lubrifiés, sont le siège de grippements et de coincements très préjudiciables à une bonne marche.

Le pendule est avant tout un organe régulateur; il faut y toucher le moins possible et lui demander le minimum de travail mécanique si l'on veut obtenir le maximum de régularité.

Pour réaliser aussi complètement que possible ces conditions, j'ai combiné un pendule d'un principe absolument nouveau, que j'observe depuis bientôt deux ans à mon laboratoire. Il est caractérisé par le fait qu'il *ne touche aucun corps solide pendant son oscillation*.

L'entretien se fait par une variante du dispositif employé autrefois par Cornu pour la synchronisation et que j'ai utilisé déjà depuis dans les dispositifs pendulaires que j'ai précédemment imaginés ⁽¹⁾.

Le principe de Cornu consistait à utiliser, pour la synchronisation du pendule, la réaction d'une bobine fixe sur un aimant droit solidaire du pendule.

La caractéristique nouvelle de mon dispositif réside dans le fait que l'autre pôle de cet aimant, recourbé en fer à cheval, oscille librement dans un anneau de cuivre rouge formant la masse d'un petit pendule auxiliaire ayant la même durée d'oscillation que le pendule principal.

Il est facile de voir que dans ces conditions, le pendule principal n'est soumis qu'aux faibles effets amortissants de l'air et des courants induits développés dans la masse en cuivre rouge du pendule auxiliaire, et qui sont tous deux constants.

Un décalage de $\frac{1}{4}$ de période a lieu naturellement entre les oscillations des deux balanciers; le pendule auxiliaire peut ainsi envoyer le courant d'une pile constante ⁽²⁾ au pendule principal, ou, au retour, lancer le courant d'une pile quelconque sur une ligne pour l'enregistrement des oscillations du système.

Ce pendule jouit de la propriété intéressante de se mettre en marche dès qu'on ferme ses bornes sur une pile, ce qui permet de le disposer sous une cloche à pression constante même dans un endroit peu accessible (une cave à température constante, par exemple).

M. LAURIOL demande à M. FÉRY s'il a comparé les résultats obtenus à l'aide de son photomètre à ceux que donnent les méthodes ordinaires.

(1) *Pendule à restitution électrique constante* (*Comptes rendus*, 7 mai 1900). — *Pendule électrique à échappement libre* (*Id.*, 23 janvier 1905).

(2) La dépense annuelle voisine de 1 watt-heure permet d'employer pour son entretien une pile étalon convenablement disposée.

M. FÉRY répond qu'il s'est précisément servi de cette comparaison pour établir les constantes de son appareil, mais qu'il n'a pas encore eu le temps de faire des séries de mesures étendues.

Photomètre à lecture directe; par M. Ch. FÉRY. — De nombreuses tentatives ont été faites pour effectuer les comparaisons photométriques sans le secours de l'œil. Il est malheureusement difficile de trouver un dispositif ayant sa sensibilité dans la même région du spectre que la rétine. Cette remarque explique pourquoi les actions chimiques de la lumière, la variation de résistance électrique du sélénium éclairé, etc., ne peuvent fournir que des résultats erronés.

La mesure de l'énergie totale de la radiation versée par une source lumineuse ne donnerait pas de meilleurs résultats, mais il n'en est plus de même si, par un artifice quelconque, *on ne laisse passer, de chaque radiation élémentaire du faisceau, qu'une quantité proportionnelle à son activité sur la rétine.*

L'absorption devra être complète dans l'ultra-violet et l'infra-rouge, et nulle pour la longueur d'onde de Langley 0^μ, 54. Pour les autres radiations, on pourra employer les facteurs d'illumination indiqués par Macé de Lépinay et Nicati (¹).

Pour faire cette sélection des radiations inactives sur l'œil, on pourrait disposer, dans le spectre de la source en étude, un écran limitant la hauteur du spectre en chaque point. Cet écran devrait avoir la forme de la courbe de sensibilité rétinienne en fonction de la longueur d'onde.

Plus simplement on peut s'adresser à une cuve absorbante.

Des essais nombreux ont montré que la plupart des solutions colorées en vert présentent une absorption insuffisante dans le rouge ou l'infra-rouge.

Au contraire, les sels de cuivre, et en particulier l'acétate, constituent des filtres parfaits.

En faisant varier la concentration d'une solution d'acétate de cuivre, on déplace le maximum d'énergie et l'on peut l'amener à coïncider avec 0^μ, 54.

A ce moment l'expérience montre qu'il ne passe plus que 0,1 à 0,4 pour 100 (bec Bengel et bec Auer) de l'énergie totale.

Le problème était donc ramené à réaliser un dispositif bolométrique suffisamment sensible pour apprécier encore cette faible énergie, et cependant assez robuste pour trouver place dans la salle d'essais photométriques.

L'expérience a montré à M. Féry que l'excellent appareil de M.C.-V. Boys, connu sous le nom de *radio-micromètre*, pouvait être disposé de manière à répondre à ces conditions :

Un cadre cuivre-constantan est suspendu par une lame très mince de bronze phosphoreux dans le champ d'un aimant. Les deux soudures du couple, placées à la même hauteur et côte à côte, sont constituées par deux lames d'argent de 0^{mm}, 3 d'épaisseur et ayant 6^{mm} × 12^{mm}. L'une des faces de ces lames est noircie au noir de platine et l'autre polie.

Ainsi disposé, le système donne 500^{mm} de déviation sur une échelle placée à 2^m, quand une des soudures reçoit 1 bougie-mètre (ceci sans interposition d'aucun milieu autre que l'air entre la source et la soudure).

Pour rendre une sensibilité suffisante à l'appareil muni de sa cuve, une lentille forme, sur l'une des plaquettes, l'image de la source mesurée.

Une commande pneumatique actionnant la lentille à distance permet de faire tomber la radiation filtrée, alternativement sur les deux soudures, ce qui annule les déplacements de zéro. Enfin le couvercle de l'appareil est en

(¹) *Journal de Physique*, 2^e série, t. II, 1883, p. 64.

cuivre rouge très épais, de manière à former une enceinte sensiblement isotherme.

On obtient ainsi 60^{mm} de déviation pour la carcel-mètre.

L'ionisation des gaz par les rayons α et la recombinaison initiale; par M. M. MOULIN. — Pour interpréter la difficulté d'obtenir le courant de saturation dans le cas de l'ionisation des gaz par les rayons α , MM. Bragg et Kleeman ont émis l'hypothèse que les deux ions fournis par l'ionisation d'une même molécule sont susceptibles de se recombiner immédiatement sous l'influence de leur attraction mutuelle. Des considérations théoriques rendent peu vraisemblable cette hypothèse d'une « recombinaison initiale ».

M. Langevin a proposé une autre interprétation basée sur l'hypothèse que les particules α , produisant une quantité considérable d'ions le long de leur trajectoire, laissent des files d'ions de densité beaucoup plus grande que celle que l'on calculerait en supposant une répartition uniforme dans le volume du gaz; la *recombinaison générale* pourrait alors expliquer la difficulté de la saturation.

M. Moulin présente les résultats d'expériences qui lui ont permis de justifier cette hypothèse. Cette hypothèse prévoit en effet que la saturation doit être plus facile à obtenir quand on établit le champ perpendiculairement aux trajectoires que lorsqu'on l'établit dans le sens même de ces trajectoires; le champ ayant pour effet de séparer immédiatement les ions dans le premier cas et de favoriser leur recombinaison, dans le second, en les laissant plus longtemps au voisinage les uns des autres. L'expérience montre que dans le premier cas la courbe monte plus vite que dans le second et se sature pour un champ de 200 volts par centimètre au lieu de 1200-1400 volts par centimètre.

Dans les deux cas, la courbe est plus élevée, quand la vitesse des particules α est plus grande. Entre les deux courbes obtenues dans les mêmes conditions pour différentes distances de la lame de polonium, on trouve que les « manques de saturation » (rapport $\frac{I-i}{I}$ de la différence du cou-

rant de saturation I et du courant actuel i ou courant de saturation), pour les deux courbes, sont dans un rapport sensiblement constant, aux erreurs d'expérience près. On peut prévoir, en supposant que la loi de recombinaison est encore applicable, que le rapport du manque de saturation doit être, s'ils sont petits, du même ordre que le rapport des ordonnées de la courbe d'ionisation de la substance en fonction de la distance. Les deux rapports sont bien du même ordre.

M. Kleeman, qui avait observé cette influence de la vitesse de la particule α sur le manque de saturation, avait tracé des courbes d'ionisation pour différentes valeurs du champ. Pour les courbes qu'il a données dans son Mémoire, la loi précédente se vérifie aussi bien qu'on pouvait l'espérer.

Il s'ensuit que le manque de saturation, lié à la densité des ions le long de la trajectoire des rayons α , est dû à la recombinaison générale entre les ions produits par une même particule α . La recombinaison initiale, proprement dite, n'a vraisemblablement qu'une influence négligeable.

Il est facile d'interpréter le fait que le manque de saturation diminue très vite avec la pression et est indépendant du nombre de particules X qui traversent le gaz.

Les propriétés physiques des colloïdes hydroxychloroferriques. Essai d'une définition de l'état micellaire; par G. MALFITANO. — En étudiant les colloïdes qui prennent naissance par hydrolyse dans les solutions de $FeCl_3$, dès leur apparition et dans toutes leurs modifications successives,

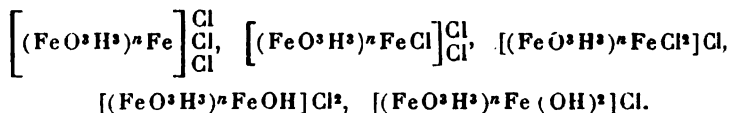
M. Malfitano a pu établir que les propriétés physiques non seulement sont extrêmement variables dans les différents colloïdes ferriques, mais chez la même matière elles peuvent encore changer selon la composition et l'état du milieu. Ces variations, entre certaines limites, se font d'une manière réversible.

Les résultats obtenus se trouvent en accord avec les données expérimentales fournies par MM. Cotton et Mouton avec l'aide de l'ultramicroscope. Il y a lieu d'envisager ces colloïdes comme étant formés de particules *micelles*, dont les dimensions sont différentes et peuvent varier selon leur composition, le mode de leur formation, l'état et la composition de leur milieu.

La méthode de filtration au travers des membranes en collodion a été employée d'abord par Borrel en bactériologie; M. Malfitano en a préconisé l'emploi pour séparer les micelles d'une liqueur stable du milieu où elles se trouvent sans crainte d'altération. On a pu ainsi suivre les variations des dimensions micellaires. Les micelles, en se concentrant sur cette membrane hémiperméable, manifestent une tension osmotique (Duclaux) qui varie plus rapidement que la concentration. Cette faculté de retenir le liquide intermicellaire et par conséquent d'occuper un volume limite à une pression donnée ne paraît pas liée à la mobilité des micelles, mais plutôt à une force de répulsion qu'elles exercent les unes sur les autres, lorsqu'elles se trouvent rapprochées au delà d'une distance limite.

M. Malfitano a mesuré la conductivité électrique de la liqueur colloïdale et comparativement celle du liquide débarrassé des micelles, par filtration, et a trouvé, les liqueurs étant diluées, que les micelles ne manifestaient pas une conductivité propre. M. J. Duclaux, ayant filtré des liqueurs très concentrées en micelles et dont le liquide intermicellaire était pauvre en électrolytes, a mis en évidence la conductivité propre des micelles. L'auteur a montré alors que lorsque le liquide intermicellaire est suffisamment riche en HCl, le colloïde se concentrant en micelles, la conductivité diminue et devient inférieure à celle du liquide intermicellaire. La valeur des conductivités attribuables aux micelles, obtenue par différence, peut chez la même matière être représentée par des chiffres négatifs ou positifs en passant par zéro.

Les mesures cryoscopiques prouvent que les micelles et les électrolytes en présence exercent une influence mutuelle en diminuant leur état d'ionisation. Les micelles ne peuvent être aucunement confondues avec des molécules; elles se rapprochent par leurs propriétés et par leur composition des composés doubles contenant des ions complexes. Les colloïdes ferriques peuvent être représentés par les formules suivantes :



Depuis 1904, M. Malfitano a proposé de définir l'état micellaire comme celui de systèmes formés par un nombre variable, qui peut être très grand, de molécules insolubles, associées d'une manière stable avec l'ion d'une molécule d'électrolytes.

A propos de la filtration de l'hydrate de fer colloïdal au travers de membranes en collodion, M. Victor HENRI fait remarquer que M. Schepard a montré que la membrane de collodion est toujours acide, même après un lavage soigné; il a trouvé aussi que certaines matières colorantes à l'état colloïdal imbibent le sac de collodion; à l'intérieur du

sac la matière colorante est à l'état colloïdal, tandis que dans la membrane elle est à l'état dissous. Il est donc arrivé à l'idée suivante : dans beaucoup de cas relatifs aux filtrations analogues à celle dont parle M. Malfitano, il s'agit d'un phénomène de dissolution dans la membrane filtrante. M. Henri ne croit pas, en conséquence, que M. Malfitano puisse déduire de ses expériences une conséquence relative à la grandeur des micelles.

En réponse à cette observation, M. MALFITANO déclare :

Il est inadmissible que l'hydrate ferrique colloïdal contenu dans une liqueur riche en H Cl puisse être dissous par la membrane, à cause de sa réaction acide extrêmement faible.

L'hydrate, ayant traversé la membrane, est retenu dans une nouvelle filtration et n'imprègne plus le collodion, si la liqueur a été dialysée, ou diluée, ou additionnée de Na Cl.

Il faut tenir compte de la correspondance qui existe entre l'hétérogénéité optique et la filtrabilité de ces liqueurs.

Électricité de contact ⁽¹⁾. — M. DESPAUX, dans un Mémoire envoyé récemment, donne de l'électricité de contact l'explication cinétique suivante : Ampère, Weber, etc., sont arrivés à cette conclusion que la molécule de fer est capable à elle seule d'agir comme un aimant et qu'elle est douée de pôles; cette molécule, M. Despaux lui a donné une forme gauche, de sorte qu'en tournant sur elle-même elle aspire et propulse de l'éther ou électricité à la façon d'une turbine ou d'un ventilateur.

Si l'on rapproche deux ventilateurs automatiques délicatement suspendus, ils s'orientent dans le même sens; de même, lorsqu'on rapprochera au contact deux corps, les molécules se touchant s'orienteront, l'une insufflant de l'éther dans l'autre, de sorte que l'un des corps sera chargé + et l'autre —; ce sera là un équilibre mécanique.

Le même effet se produit dans le contact d'une molécule solide et d'une molécule liquide; d'où l'explication de la pile : l'eau mouillant le zinc, c'est-à-dire arrivant au contact, les molécules s'orientent dans le même sens et de l'éther est aspiré côté zinc; du côté cuivre, au contraire, de l'éther est propulsé, d'où un courant continu si l'on a soin de rejoindre les électrodes par le haut.

Par cette même cause M. Despaux a tenté d'expliquer toutes les propriétés et toutes les énergies de la matière.

SÉANCE DU 15 MAI 1908.

PRÉSIDENTE DE M. DESLANDRES.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1^{er} mai est lu et adopté.

Les personnes qui ont été présentées dans la dernière séance sont élues Membres de la Société.

Les personnes dont les noms suivent sont présentées pour être Membres de la Société. Il sera statué sur leur admission dans la séance du 15 juin.

(1) Résumé d'une Note présentée le 6 mars 1908.

MM. DE MONTMOLLIN (André), Licencié ès sciences, Chef du Service de l'électricité de Lausanne (Suisse).
SCHLUMBERGER (Conrad), Ingénieur des Mines, Professeur de Physique à l'Ecole des Mines, à Paris.

Sur l'ionisation de l'air par la lumière ultra-violette; par M. Eugène BLOCH. — Lenard a découvert et étudié en 1900 la propriété que possède l'air de devenir conducteur de l'électricité sous l'action de la lumière ultra-violette de courte longueur d'onde. Les ions positifs obtenus auraient une mobilité très faible de l'ordre de celle des gros ions, alors que les ions négatifs seraient de petits ions ordinaires. Il est naturel de songer à expliquer ce résultat en attribuant la conductibilité observée à l'effet Hertz sur les poussières photo-électriques en suspension dans le gaz : ces poussières se chargeaient positivement en abandonnant au gaz des corpuscules négatifs, origine des ions de même nom. Cette hypothèse, à laquelle Lenard lui-même avait songé, est celle qui est soutenue par J.-J. Thomson.

L'auteur a voulu la vérifier par des expériences directes. Il s'est servi, comme sources d'ultra-violet, d'étincelles condensées entre tiges d'aluminium et de l'arc au mercure de quartz de Heræus. Ses expériences ont été de deux sortes : dans les unes le gaz immobile, compris entre les armatures d'un condensateur plan, est soumis à la radiation à travers une fenêtre de quartz et sa conductibilité mesurée avec un électromètre Curie sensible. Dans les autres, l'air est soumis à la radiation dans une chambre spéciale et entraîné ensuite sous forme de courant gazeux dans un condensateur cylindrique où on l'étudie. Les résultats fournis par ces deux méthodes ont été concordants. Si l'air renferme des poussières, il présente un effet Lenard sensible. S'il est filtré sur coton ou débarrassé de ses poussières par le champ électrique lui-même, sa conductibilité tombe à une très faible fraction de sa valeur initiale (par exemple $\frac{1}{50}$). Dans ces expériences, la source de radiation était placée à 5^{cm} au moins de la fenêtre de quartz. En la plaçant beaucoup plus près, les perturbations produites par l'effet Hertz ordinaire s'exerçant sur les parois de la chambre d'ionisation deviennent difficiles à écarter. Pour éviter cependant autant que possible l'absorption des radiations actives par l'air, les expériences ont été répétées après interposition entre la source et la chambre d'ionisation d'un tube de 5^{cm} fermé par des fenêtres de quartz et renfermant de l'hydrogène pur et sec. Les résultats ont été les mêmes. Cependant la radiation traversait toujours au moins 5^{mm} d'air.

L'auteur conclut, par conséquent, *en attribuant la plus grande partie de l'effet observé par Lenard à la présence dans l'air de particules photo-électriques*.

Le professeur J.-J. Thomson a annoncé récemment qu'il avait retrouvé l'effet Lenard sur l'air. Mais cet effet serait extrêmement faible et les radiations efficaces seraient absorbées par 3^{mm} d'air seulement. Il n'y a donc aucune contradiction entre ce résultat et les précédents, et les effets considérables observés par Lenard paraissent indépendants en grande partie de ceux que signale J.-J. Thomson.

L'auteur tire de ses expériences quelques conséquences relatives à l'électricité atmosphérique.

M. M. MOULIN rappelle que M. P. Langevin a déjà présenté en 1905 des résultats concernant l'influence des poussières en suspension dans l'air sur l'action ionisante de la lumière :

« L'action directe sur l'air de la lumière produite par un arc à charbons donne de petits ions négatifs et de gros ions positifs, ainsi que M. Lenard l'avait observé. Cet effet, attribué par lui à une action directe de la lumière

sur le gaz, *disparaît de manière complète*, au moins en ce qui concerne les gros ions positifs, quand l'air est filtré sur un tampon d'ouate. Il semble donc provenir, contrairement à l'opinion de M. Lenard, d'une action photo-électrique de la lumière sur les particules ou poussières contenues dans l'air, qui provoque l'émission par celles-ci de corpuscules négatifs et les transforme en gros ions positifs. *L'action de la lumière ultra-violette de l'arc sur l'air privé de poussières ne produit pas d'ions de faible mobilité*. Il serait intéressant de savoir comment l'effet photo-électrique sur les particules en suspension dans l'air dépend de leur nature. » (*Bulletin des séances, Société de Physique*, 4^e fasc., p. 81*).

Le dispositif employé pour l'une des expériences faites en 1905 était analogue au deuxième dispositif employé par M. Bloch. L'air traversait un tube de verre dans lequel la lumière de l'arc pénétrait à travers une fenêtre de quartz; l'air passait ensuite dans un condensateur cylindrique, puis dans un tube isolé et bourré de coton, fonctionnant comme cylindre de Faraday, pour retenir toutes les charges qui ont échappé au condensateur si le champ électrique dans ce condensateur est faible. Ce dispositif permet la mesure des mobilités. On peut aussi établir dans le condensateur un champ suffisant pour retenir les petits ions et relier le cylindre de Faraday à l'électromètre. On trouve alors que, pour de l'air pris dans la salle et non filtré, ce cylindre reçoit des charges positives, alors que, si l'air a été filtré sur un tampon de coton, aucune charge n'arrive au cylindre.

En faisant passer dans l'appareil de l'air qui contient en suspension de la poussière d'aluminium, la charge reçue, très faible ou nulle quand l'arc est éteint, devient considérable dès qu'on fait agir la lumière.

Étude cinématographique des mouvements browniens; par M. Victor HENRI. — L'étude quantitative des mouvements browniens que présentent des particules très fines suspendues dans un milieu liquide ou gazeux est très difficile, à cause de la rapidité et de la faible trajectoire de ces mouvements. L'observation directe au microscope ne permet d'obtenir que des données schématiques sur ces mouvements. D'autre part, les recherches théoriques d'Einstein, Marie Smoluchowski, Langevin et Perrin montrent qu'il y a un intérêt d'ordre général à étudier quantitativement ces mouvements.

Grâce à une installation micrographique très complète du laboratoire de M. François-Franck, que je tiens à remercier ici pour l'accueil qu'il m'a fait, et grâce à l'aide de M^{lle} Chevreton, qui a établi un montage très perfectionné de cinématographie microscopique, j'ai pu obtenir des vues cinématographiques des mouvements browniens.

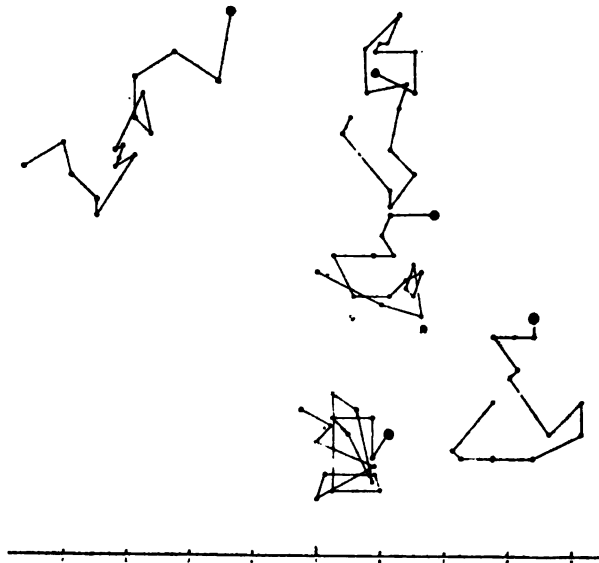
L'émulsion étudiée est du latex de caoutchouc dilué environ 500 fois avec de l'eau distillée; on choisit une émulsion contenant des grains bien isolés et uniformes comme grosseur. Ces grains sont absolument sphériques et ont environ 1 μ de diamètre.

L'émulsion est mise sur une lame portant un quadrillage très fin; on la recouvre avec une lamelle qu'on lute à la paraffine. De cette façon, on peut conserver une émulsion sans évaporation pendant plusieurs jours et même plusieurs semaines, et l'on constate toujours des mouvements browniens très nets. L'avantage du latex est d'une part l'uniformité de grosseur des grains, d'autre part leur densité très voisine de celle de l'eau : elle est égale à 0,98. On n'observe donc pas avec le latex la répartition en profondeur que Perrin a étudiée pour la gomme-gutte.

La préparation est placée en position exactement horizontale sous le microscope. Les photographies étaient faites avec l'objectif apochromatique Zeiss de 2^{mm}, l'oculaire à projection 4 et la distance de 24^{cm}, ce qui donne un grossissement d'environ 600 diamètres. La source éclairante est une lampe

à arc de 30 ampères ; le cinématographe est disposé directement au-dessus du microscope. Les cinématographies obtenues contiennent vingt images par seconde et la durée de pose de chaque image est égale à $\frac{1}{120}$ de seconde ; par conséquent, l'intervalle de temps séparant deux images consécutives est égal à $\frac{1}{120}$ de seconde.

L'émulsion choisie était suffisamment diluée pour que dans le champ il n'y ait qu'une vingtaine de grains ; de cette façon leur repérage peut être fait avec exactitude et l'on peut, en déterminant la position d'un grain sur une série de photographies successives, dessiner la projection de la trajectoire décrite par chaque grain. La figure ci-jointe représente ces trajectoires pour cinq grains, les points successifs correspondant aux intervalles de $\frac{1}{120}$ de seconde ; l'échelle donne la grandeur du μ .



Résultats. — La trajectoire décrite par un grain est très complexe ; elle varie d'un grain à l'autre et elle est absolument indépendante pour chaque grain, même lorsqu'on compare des particules voisines de 2μ ; cette trajectoire présente très souvent des variations très brusques de direction.

Le déplacement moyen correspondant à $\frac{1}{120}$ de seconde varie très peu d'un grain à l'autre. Voici, par exemple, les valeurs moyennes pour dix grains pris au hasard, ces moyennes correspondant chacune à seize déterminations successives :

0 μ ,58, 0 μ ,55, 0 μ ,52, 0 μ ,56, 0 μ ,70, 0 μ ,64, 0 μ ,67, 0 μ ,71, 0 μ ,55, 0 μ ,70 :

la moyenne de ces nombres est égale à

$$\Delta = 0\mu,62.$$

La formule d'Einstein, établie également par Marie Smoluchowski et Langevin, donne les valeurs de ce déplacement moyen :

$$\Delta^2 = \frac{RT}{N} \frac{1}{3\pi\eta r} \mathcal{S}.$$

R est la constante des gaz : $8,31 \cdot 10^7$; $T = 290^\circ$; N le nombre de molécules par molécule-gramme : $7 \cdot 10^{23}$; η la viscosité de l'eau : 0,013; r le rayon des particules : $0,5 \cdot 10^{-4}$ cm, et $\mathcal{S}$ la durée $\frac{1}{10}$ sec.

Cette formule donne comme valeur théorique de Δ : $0^{\mu},16$, c'est-à-dire *une valeur plus de quatre fois plus faible que la grandeur trouvée expérimentalement* (en effet, 0,62 est la valeur moyenne de la projection horizontale du déplacement).

Il résulte donc de nos expériences que la formule d'Einstein ne donne pas la valeur exacte du déplacement dans le mouvement brownien des grains étudiés par nous.

On doit se demander à quoi peut être dû cet écart entre la théorie et l'expérience. La formule d'Einstein montre que Δ^2 est proportionnel à la durée $\mathcal{S}$. J'ai fait des mesures de déplacement de grains de quatre images en quatre images, c'est-à-dire correspondant à $\frac{1}{10}$ de seconde; la moyenne trouvée est égale à $1^{\mu},11$ au lieu de $2 \times 0,62 = 1,24$ exigé par la formule; c'est un accord suffisamment bon. Donc l'expérience vérifie bien la proportionnalité de Δ^2 à la durée.

Il reste à se demander si la relation entre Δ^2 et la viscosité est bien celle qu'admet Einstein, c'est-à-dire a-t-on le droit d'appliquer la loi de Stokes au déplacement dans l'eau de grains ayant 1^{μ} de diamètre? Il est possible que cette loi ne s'applique pas à des grains aussi petits. C'est un point qu'on peut résoudre par l'étude cinématographique.

M. DE BROGLIE croit utile, dans cette séance consacrée aux particules en suspension dans les liquides et les gaz, d'indiquer un procédé qui permet l'observation directe de phénomènes intéressants.

Zsigmondy, puis Puccianti et Vigezzi ont soumis à l'examen ultramicroscopique de l'air contenant des fumées diverses; ils visaient le faisceau condensé d'une source puissante illuminant par diffusion les particules en suspension : c'est ainsi qu'ils ont étudié le mouvement brownien des granules.

On peut examiner les phénomènes auxquels donne lieu l'application d'un champ électrostatique avec un dispositif analogue d'observation ultramicroscopique; une petite cuve à parois planes, munie de deux faces métalliques opposées, est remplie du gaz à étudier (fumées diverses, gaz d'étincelle, etc.) et immergée dans un bain d'huile de vaseline qui permet à la fois d'éviter les mouvements thermiques de convection et d'établir une différence de potentiel de quelques centaines de volts entre les électrodes.

Quand on établit les contacts, on voit nettement les granules aller les uns dans le sens du champ, les autres en sens contraire, tandis qu'une troisième fraction ne se transporte pas; ce sont les gros ions positifs et négatifs et les centres neutres (dans le cas du transport des colloïdes liquides, tous les granules se déplacent et dans le même sens).

L'application un peu prolongée du champ a pour effet d'attirer aux électrodes où elles adhèrent toutes les particules chargées; en effet, on ne voit bientôt plus que des centres neutres, et l'on peut vérifier que l'exposition à des rayonnements ionisants est susceptible d'en transformer une partie en gros ions des deux signes, désormais sensibles au champ.

De ce mode d'observation découlent plusieurs applications intéressantes : mesure directe des mobilités que confirment les résultats des mesures

électrométriques; appréciation de la répartition des centres des deux signes, etc.

Il est enfin remarquable de noter qu'on suit ainsi individuellement les centres chargés, dans un cas dont la théorie avait été déduite par M. Langevin de la théorie de la conductibilité des gaz soumis aux rayons de Röntgen. C'est un appui en faveur des hypothèses qui attribuent la conductibilité gazeuse en général à des charges séparées des deux signes, en suspension dans un milieu isolant et soumises dans leur ensemble aux lois de l'Electrostatique.

M. J. DUCLAUX pense que l'explication purement cinétique du mouvement brownien rencontre de très grandes difficultés. En particulier, la pression osmotique des particules ultramicroscopiques n'est pas proportionnelle à leur concentration, au moins quand elle est assez grande pour être directement mesurable. Il ne semble pas qu'une théorie aussi simple suffise à traiter, même qualitativement, le cas le plus général du mouvement brownien.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL donne lecture d'une Note de M. SAGNAC.

Relativement aux expériences de M. A. Righi, sur *l'ionisation de l'air produite par une pointe électrisée*, exposées dans une conférence faite à Pâques, M. G. SAGNAC fait remarquer qu'il a observé aussi des projections d'ions, dans l'air à la pression atmosphérique soumis à l'action des rayons X; au lieu de comparer ces projections à des rayons-canaux, comme le fait M. Righi, il préfère les assimiler à des rayons cathodiques ou anodiques, car les ions qui les forment peuvent être à volonté positifs ou négatifs.

SÉANCE DU 5 JUIN 1908.

PRÉSIDENCE DE M. DESLANDRES.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 mai est lu et adopté.

Les personnes qui ont été présentées dans la dernière séance sont élues Membres de la Société.

Est présenté pour faire partie de la Société :

M. le D^r DEFOIX, à Paris.

Il sera statué sur son admission dans la séance du 19 juin.

Sur l'absorption de la lumière et les phénomènes magnéto-optiques dans les sels de terres rares aux températures de liquéfaction et de solidification de l'hydrogène; par MM. Jean BECQUEREL et H. KAMMELINGH ONNES. — L'un des auteurs ⁽¹⁾ a précédemment étudié les phénomènes magnéto-optiques dans divers composés de terres rares, et l'influence des variations de température sur l'absorption entre +100° et -190°. Au

⁽¹⁾ Jean BECQUEREL, *le Radium*, IV, n° 2, p. 49; n° 3, p. 103; n° 9, p. 328; n° 11, p. 383 (1907); V, n° 7, p. 5 (1908).

laboratoire cryogène de l'Université de Leyde, il a été possible d'observer jusqu'à -259° (solidification de l'hydrogène) ⁽¹⁾ les spectres des cristaux et leurs variations dans un champ magnétique. La présente communication donnera un premier aperçu de l'ensemble des phénomènes ⁽²⁾.

Dispositif. — Les lames cristallines, enchâssées dans une petite plaque de platine à l'extrémité d'une tige de verre, sont placées à l'intérieur d'un tube à enceinte de vide non argenté. Ce tube, dans lequel on verse de l'hydrogène liquide, est entouré d'un second tube renfermant de l'air liquide. L'ensemble des deux tubes possède une partie étroite qui pénètre entre les pôles, distants de 8^{mm}, d'un électro-aimant Weiss. Le tube à hydrogène est maintenu par un collier de caoutchouc dans un chapeau en argentan muni de trois tubulures. Dans l'une de ces tubulures passe la tige supportant le cristal; les deux autres tubulures servent à l'introduction et au dégagement de l'hydrogène.

1. — INFLUENCE DES VARIATIONS DE TEMPÉRATURE SUR LES SPECTRES D'ABSORPTION.

1° On sait que les bandes deviennent plus fines lorsqu'on abaisse la température. L'étude de la dispersion anormale auprès de quelques bandes de la tysonite avait montré que, jusqu'à la température de -190° , la largeur de ces bandes varie proportionnellement à la racine carrée de la température absolue. Si l'on abaisse la température jusqu'à -259° , on constate que la plupart des bandes ne suivent plus une loi aussi simple et se rétrécissent de moins en moins. Quelques-unes même passent par un minimum de largeur entre -253° et -259° . Il subsiste toutefois un certain nombre de bandes dont la largeur continue à diminuer jusqu'à -259° , à peu près suivant la loi établie jusqu'à -190° .

2° On a vu précédemment que presque toutes les bandes d'absorption des composés de terres rares sont, à la température de l'air liquide, beaucoup plus intenses qu'à la température ordinaire. L'augmentation d'intensité résulte à la fois du rétrécissement et d'un accroissement de l'énergie totale absorbée. Aux températures plus basses, on observe qu'un grand nombre des bandes qui avaient donné lieu à une absorption croissante entre $+20^{\circ}$ et -190° ont, au contraire, considérablement diminué d'intensité; certaines ont même disparu à -259° .

Il existe donc, pour chacune de ces bandes, une température à laquelle l'absorption passe par un maximum.

Il est probable que ce fait est général et que les rares bandes pour lesquelles l'absorption diminue à partir de la température ordinaire, par l'effet du refroidissement, possèdent leur maximum à haute température. D'autres bandes, au contraire, continuent à augmenter d'intensité entre -190° et -259° . Il est à présumer qu'elles passeraient par un maximum au-dessous de 14° absolus. Parmi ces bandes se trouvent celles qui apparaissent par refroidissement; elles constituent un *spectre de basse température*, à peu près invisible à la température ordinaire.

Le phénomène du maximum d'absorption semble devoir être rapproché de l'existence probable, à très basse température, d'un maximum de conductibilité des métaux ⁽³⁾.

⁽¹⁾ H. KAMERLINGH ONNES, *Proc. roy. Soc. Amst.* (mai 1906); *Comm. Phys. Labor. Leiden*, n° 94.

⁽²⁾ Jean BECQUEREL et H. KAMERLINGH ONNES, *Kon. Akad. Amsterdam* (29 février 1908) et *Comptes rendus* (23 mars 1908).

⁽³⁾ H. KAMERLINGH ONNES, *Comm. Leiden*, suppl. n° 9, 1904, p. 25 — H. KAMERLINGH ONNES et J. CLAY, *Comm. Leiden*, n° 95^a, 95^b, 99^a.

2. — PHÉNOMÈNES MAGNÉTO-OPTIQUES.

I. — *Vibrations circulaires dans les cristaux uniaxes.* L'axe optique d'un cristal uniaxe (xénotime, tysonite, parisite, apatite, etc) étant orienté parallèlement au champ magnétique et au faisceau lumineux, si l'on analyse simultanément les spectres de deux vibrations circulaires inverses, on observe les phénomènes suivants :

1° L'écart des bandes d'absorption des vibrations droites et gauches, dans un même champ magnétique, reste invariable jusqu'à -259° . Les changements de fréquence, sous l'action du magnétisme, des systèmes oscillants sont donc, au moins en première approximation, indépendants des mouvements thermiques, de l'intensité et de la largeur des bandes, ainsi que des propriétés paramagnétiques de la substance; ils paraissent être la cause première du diamagnétisme.

L'invariabilité des changements de fréquence apporte un solide appui à l'hypothèse des électrons positifs. Si, en effet, les bandes dont les déplacements sont de sens opposé au sens du phénomène de Zeeman étaient dues à des électrons négatifs, il faudrait supposer que ces électrons vibrent dans un champ magnétique de sens opposé au champ extérieur, et il est difficile d'admettre que ce champ interne puisse être tout à fait indépendant de la température.

Les résultats précédemment obtenus pour la polarisation rotatoire magnétique dans les cristaux ont été confirmés et étendus.

2° Aux très basses températures, on observe, pour presque toutes les bandes du xénotime et de l'apatite ainsi que pour une bande de la tysonite, une *dissymétrie d'intensité entre les composantes correspondant aux deux vibrations circulaires*. Cet effet avait déjà été observé à -190° , et à cette température n'avait paru soumis à aucune règle. A -253° et -259° , la composante située du côté des petites longueurs d'onde augmente d'intensité aux dépens de l'autre composante. La dissymétrie est d'autant plus forte que la température est plus basse et que le champ est plus intense. Une seule bande, dans le xénotime, donne un effet de sens inverse.

Ces dissymétries, observées lorsque le faisceau est parallèle au champ, ne sont expliquées par aucune des théories actuelles.

Il semble que la stabilité des systèmes oscillants varie rapidement, à très basse température, dès que la période est légèrement modifiée. Ces phénomènes sont peut-être de nature à apporter quelque lumière sur l'explication du magnétisme, car des variations de stabilité, introduisant une dissymétrie entre les mouvements de sens opposés, peuvent être liées à l'origine du paramagnétisme.

II. — *Cristaux biaxes; variation de l'inertie des systèmes oscillants avec la direction du mouvement.* — Dans certains cristaux (sulfates de néodyme et de praséodyme), on rencontre des bandes qui, à -253° et -259° , se résolvent en groupes de raies extrêmement fines. Ces raies occupent sensiblement la même place dans les trois spectres principaux. Désignons par 1, 2, 3 les directions principales relatives à l'une de ces raies; nous pouvons placer successivement ces directions parallèlement au champ magnétique; nous avons alors respectivement les vibrations 2 et 3, 1 et 3, 1 et 2 orientées normalement au champ. L'expérience montre que, dans le premier cas, les raies des spectres 2 et 3, *les deux vibrations étant liées ensemble par l'effet du champ qui leur est perpendiculaire*, donnent, en général, un même doublet magnétique. Dans le deuxième cas, 1 et 3 donnent aussi un même doublet, *mais ce doublet est différent du premier*. Enfin 1 et 2, dans le troisième cas, donnent un nouveau doublet différent des deux autres.

L'écart des composantes de ces doublets est, en première approximation, le même lorsque le faisceau est parallèle au champ ou lorsqu'il est dirigé suivant l'une des directions principales normales au champ.

Enfin les trois vibrations 1, 2, 3, orientées parallèlement au champ, donnent encore trois nouveaux doublets qui, à première vue, ne paraissent pas avoir de relations entre eux ni avec les doublets des vibrations normales au champ.

Si l'on admet que l'absorption est due à des électrons soumis à une force quasi élastique, on est conduit aux conclusions suivantes :

1° La masse de ces électrons dépend de la direction du mouvement; la variabilité de cette masse électromagnétique pourrait résulter d'une forme ellipsoïdale de l'électron.

2° Comme les bandes ont sensiblement la même position dans les trois spectres, les trois constantes des forces quasi élastiques dans les trois directions principales sont proportionnelles aux trois masses principales.

Chacun des phénomènes résumés dans cette communication donnera lieu à une étude approfondie sur les nombreux clichés obtenus à Leyde.

Action du champ magnétique sur les bandes des spectres d'émission de quelques corps composés à l'état gazeux (phénomène de Zeeman normal et anormal); par M. A. DUFOUR. — M. A. Dufour rappelle d'abord l'état de nos connaissances sur la façon dont se comportent les bandes à composantes régulièrement distribuées des spectres d'émission dans le champ magnétique : comme MM. H. Becquerel et Deslandres l'avaient trouvé, toutes les bandes des spectres d'émission étudiées jusqu'ici s'étaient montrées insensibles à l'action du champ magnétique.

Ce n'est que dans le cas des spectres d'absorption qu'on a constaté le phénomène de Zeeman soit sur des bandes dues à des corps gazeux, comme l'hypoazotide, soit sur des liquides ou des solides, comme les cristaux ou les solutions refroidies de M. J. Becquerel; certaines bandes d'absorption de sels de métaux rares à l'état dissous ou cristallisé ont même donné, comme l'a montré M. J. Becquerel, un phénomène de Zeeman longitudinal anormal.

M. A. Dufour expose alors les recherches qu'il a faites sur la façon dont se comportent dans le champ magnétique des *bandes des spectres d'émission* de différents corps composés à l'état gazeux, en se limitant, dans la présente communication, aux fluorures et chlorures alcalino-terreux.

Ces corps, projetés à l'état de poudre dans la flamme d'un chalumeau oxyacétylénique, y sont immédiatement volatilisés et émettent leur spectre particulier. Cette flamme étant placée au centre d'un électro-aimant Weiss horizontal, on en forme une image réelle sur une lame demi-onde pour les radiations utilisées et dont l'axe est situé à 45° de la section principale, ici verticale, d'un nicol analyseur; cette lame demi-onde n'est recouverte que par la moitié de l'image de la flamme, les rayons de l'autre moitié passant dans l'air au-dessus de la lame. Le faisceau entier, rendu parallèle à l'aide d'une lentille, traverse ensuite le nicol analyseur, puis une autre lentille et vient donner de nouveau une image de la flamme, et par conséquent de la lame demi-onde, sur la fente verticale d'un collimateur au point sur l'infini et dirigé vers un réseau concave de Rowland. On photographie le spectre de troisième ordre donné par le réseau en lumière diffractée à peu près normale. Le dispositif précédent convient pour étudier le phénomène de Zeeman quand on utilise la lumière émise perpendiculairement au champ : on obtient juxtaposés le spectre formé par les vibrations perpendiculaires au champ et le spectre dû aux vibrations parallèles au champ. Pour étudier le phénomène de Zeeman longitudinal, c'est-à-dire celui qu'on obtient avec la lumière émise parallèlement au champ, il suffit, comme on sait, de mettre un quart d'onde orienté comme la lame demi-onde entre celle-ci et l'analyseur; on obtient l'un au-dessus de l'autre le spectre dû aux vibrations circulaires droites de la

source et celui qui est dû aux vibrations circulaires gauches. A titre d'exemple, M. A. Dufour projette une photographie du phénomène de Zeeman, bien connu, que donnent les raies D_1 , D_2 du sodium.

Il expose alors les *résultats* qu'il a obtenus pour les spectres de bandes d'émission des fluorures et chlorures alcalino-terreux :

1° Ces spectres contiennent un grand nombre de bandes vérifiant d'ailleurs la formule des fréquences de M. Deslandres, comme M. Fabry l'avait montré pour les fluorures, et qui présentent le phénomène de Zeeman aussi bien dans le sens du champ que dans le sens perpendiculaire; toutes les arêtes d'une même bande paraissent se comporter de la même manière.

2° Parmi ces bandes, les unes présentent le phénomène de Zeeman longitudinal normal comme les raies étudiées jusqu'à présent; la composante accélérée du doublet magnétique a le sens des courants d'Ampère relatifs au champ; les autres bandes, et il y en a beaucoup, montrent le phénomène de Zeeman *anormal*, dont M. J. Becquerel avait trouvé quelques exemples dans les spectres d'absorption des cristaux et solutions de terres rares. Il faut remarquer aussi que, pour toutes les bandes normales, la polarisation circulaire est complète, tandis qu'elle ne l'est pas pour les bandes anormales.

3° Enfin, perpendiculairement aux lignes de force, toutes ces bandes sensibles au champ donnent ou des quadruplets normaux, ou des quadruplets inverses, ou enfin des doublets égaux pour les deux directions de vibration.

M. A. Dufour montre des Tableaux contenant un certain nombre de ses observations et de ses mesures sur les spectres des six corps qu'il a étudiés. Il projette quelques clichés, où l'on voit côte à côte tous les exemples de bandes décrits plus haut.

Au point de vue de l'explication théorique du phénomène de Zeeman longitudinal anormal, à l'aide des électrons positifs, par exemple, il convient de rester dans l'expectative; on n'a pu, en effet, trouver jusqu'à présent de schéma satisfaisant au point de vue spectroscopique pour représenter la constitution et les propriétés d'un atome, et *a fortiori* d'une molécule. Tout ce qu'on peut dire, c'est que l'explication théorique des faits indiqués ci-dessus devra sans doute tenir compte des remarques suivantes, qu'ont déjà signalées MM. Cotton et Dufour :

1° Ces spectres sont dus à des molécules et non à des atomes;

2° Dans le cas particulier de ces six corps, les composantes des bandes sont dégradées d'un certain côté, qui dépend d'ailleurs du corps considéré; en outre, elles sont renversables;

3° Dans le champ magnétique, la polarisation circulaire des bandes anormales n'est pas complète;

4° Toutes ces bandes ne donnent jamais de triplet pur.

M. A. Dufour continue l'étude de ces phénomènes magnéto-optiques sur les spectres d'émission et d'absorption des autres composés halogénés des métaux alcalino-terreux, et, en même temps, comme il a été amené à mesurer d'une manière précise les longueurs d'onde de toutes ces bandes, il espère, grâce au phénomène de Zeeman, mener à bonne fin le travail de spectroscopie pure qu'il a entrepris et qui consiste à rechercher des relations entre la constitution de la molécule et les longueurs d'onde ou les fréquences des bandes du spectre qu'elle émet.

En terminant, il montre à la Société le spectre de la flamme à fluorure de calcium, et remercie MM. Abraham et Cotton de leurs précieux conseils.

M. Jean BECQUEREL présente les remarques suivantes :

1° La principale objection faite par M. Dufour à l'hypothèse des *élec-*

trons positifs est que les raies anormales des chlorures et fluorures alcalino-terreux ne présentent jamais, sous l'influence du magnétisme, de polarisation circulaire totale.

Il en est autrement dans les sels de terres rares. Si, pour quelques bandes, la polarisation circulaire n'est pas totale, ce fait n'est pas général et n'est d'ailleurs pas particulier aux bandes attribuables à des électrons positifs.

2° *Dans les sels de terres rares, cristallisés ou en solution, il n'y a pas lieu de parler de phénomène normal ou anormal* : les déplacements des bandes d'absorption des vibrations circulaires, sous l'influence d'un champ magnétique, ont lieu aussi fréquemment dans un sens que dans l'autre.

D'autre part, M. Jean Becquerel s'est proposé de rechercher si les terres rares, dont l'absorption à basse température avait donné lieu au premier phénomène attribuable à des électrons positifs, ne manifesteraient pas aussi les mêmes effets dans l'émission à très haute température. Ces phénomènes ont été retrouvés dans le *spectre d'étincelle condensée de l'yttrium*. Dans ce spectre l'attention est attirée par deux groupes de raies qui n'offrent pas le même aspect que les raies isolées. Ces raies, situées dans l'orangé, ont été observées par Thalén, qui les a signalées comme *bien caractéristiques de l'yttrium*; elles sont de *forme dissymétrique*, comme les raies étudiées par M. Dufour, et possèdent un bord net du côté du violet, suivi d'une lueur dégradée du côté opposé; ces raies se succèdent régulièrement à des intervalles de $144,6$ à $144,8$, et dans chacun des groupes la différence des nombres de vibrations entre deux raies consécutives est constante. Les raies diminuent d'intensité des plus petites aux plus grandes longueurs d'onde. Les têtes de séries ont, d'après Thalén, pour longueurs d'onde $59744,05$ et $61344,10$.

Les raies du second groupe ($61344,10$) donnent le phénomène de Zeeman dans le sens habituel, tandis que les raies du premier groupe ($59744,05$) présentent le phénomène de sens inverse. Les décalages sont un peu plus petits que pour les raies D du sodium.

Pour ces deux groupes de raies, la polarisation circulaire a paru totale.

M. Jean Becquerel signale en outre une Note récente de M. R.-W. Wood (*Phil. Mag.*, février 1908), intitulée *Electrons positifs dans la vapeur de sodium*. M. Wood a observé dans le pouvoir rotatoire magnétique de la vapeur de sodium des effets analogues à ceux qui avaient été obtenus dans les cristaux auprès des bandes d'électrons positifs; il a, par suite, conclu à l'existence de ces électrons dans le sodium. Il est toutefois regrettable que M. Wood n'ait pu observer directement le déplacement des raies sous l'influence du champ magnétique.

Les observations précédentes suggèrent quelques remarques :

1° Le fait mis en évidence avec l'yttrium montre qu'à la température la plus élevée que nous puissions produire, et à laquelle on considère généralement les éléments comme séparés, dans un spectre que divers physiciens ont considéré comme appartenant à un corps simple, les phénomènes attribuables à des électrons positifs peuvent encore se manifester.

2° Tandis que dans les cristaux ces phénomènes s'observent avec les bandes isolées, dans les vapeurs ils apparaissent surtout dans des séries de raies d'aspect dissymétrique et régulièrement distribuées. Il en est ainsi dans les expériences de M. Dufour, dans celles de M. Wood (qui observe un pouvoir rotatoire négatif d'un seul côté de raies dissymétriques) et enfin dans l'expérience relative à l'yttrium.

3° Il est vrai qu'on ne peut pas actuellement affirmer que les phénomènes qui viennent d'être discutés sont dus à des électrons positifs; mais il est néanmoins certain qu'ils nous fournissent, pour la première fois, de

très bonnes raisons de croire à l'existence de ces électrons, et qu'on peut adopter cette hypothèse de préférence à toutes les autres, bien plus compliquées, et ne relevant pas du domaine de l'expérience.

4° Dans cet ordre d'idées il est possible que les électrons positifs, qui n'ont pu être séparés des atomes ni dans les décharges électriques, ni dans les phénomènes de radioactivité, et qui paraissent par suite fortement liés aux atomes, puissent néanmoins acquérir un degré de liberté suffisant pour se manifester dans les phénomènes optiques, grâce aux actions qui s'exercent entre les atomes groupés dans une même molécule. Peut-être aussi la loi de succession des diverses raies d'un même groupe, loi dans certains cas particulièrement simple, contribuera-t-elle à faire comprendre dans quelles conditions se produisent les spectres attribuables à des électrons positifs.

M. COTTON croit qu'il y a des difficultés sérieuses à chercher à expliquer les belles expériences de MM. J. Becquerel et A. Dufour par l'existence d'électrons positifs. Pour qu'une hypothèse semblable puisse être considérée comme s'imposant nécessairement, il ne faut pas qu'à chaque fait nouveau on soit conduit à admettre l'existence d'une nouvelle espèce d'électrons, ou bien à leur attribuer une propriété nouvelle. Ce qui a fait le succès de la théorie des électrons *négatifs*, c'est que l'observation de phénomènes variés conduisait à admettre dans tous ces cas la présence d'électrons d'une seule espèce, et que ces électrons avaient permis à Lorentz de prévoir un caractère essentiel du phénomène de Zeeman.

Il y a d'abord l'objection qu'a soulevée M. Dufour lui-même : à l'encontre de ce qui se passe pour toutes les raies des spectres d'atomes, les composantes magnétiques des arêtes présentant dans le sens des lignes de force le phénomène anomal ne sont *jamaïs*, dans le cas de ces vapeurs, polarisées circulairement d'une façon complète : il faudrait donc, dans l'hypothèse des électrons positifs, expliquer non seulement pourquoi ces nouveaux électrons ne manifesteraient leur présence que dans les spectres de molécules, et non dans les spectres d'atomes, mais aussi pourquoi dans les vapeurs ces électrons positifs seraient *toujours* accompagnés d'électrons négatifs, identiques au signe près, émettant une moindre quantité de lumière. Ce résidu, tenant à une polarisation circulaire incomplète, M. Jean Becquerel, qui l'avait lui-même signalé le premier dans une raie de la tysonite, l'observe encore avec une grande netteté sur quelques-uns des beaux clichés obtenus avec M. Kamerlingh Onnes que M. Becquerel vient de présenter ce soir ; il est bien net sur la raie du groupe vert du xénotime, pour laquelle le dédoublement est si grand. Or ce cas présente un intérêt particulier : si l'on admet, comme l'a fait M. Jean Becquerel, que l'on peut, par le calcul classique, de la grandeur du phénomène de

Zeeman observé dans ce cas, déduire le rapport $\frac{e}{m}$ de la charge à la masse d'un électron, il faudrait admettre que non seulement les nouveaux électrons positifs, mais aussi les électrons négatifs qui les accompagnent, et qui produiraient le résidu observé, présentent dans ce cas une valeur exceptionnellement grande pour ce rapport, huit fois plus grande que la valeur déduite des rayons cathodiques.

Ce *gros* phénomène de Zeeman que M. Jean Becquerel a découvert n'a été, il est très important de le remarquer, observé jusqu'ici qu'en étudiant des *cristaux*. Les raies anormales des *vapeurs* de M. Dufour donnent, au contraire, des dédoublements de l'ordre de grandeur habituel, et M. J. Becquerel en observe encore du même ordre lorsqu'il étudie des *solutions* ou des vapeurs renfermant les métaux rares que renferment ces cristaux. Pourquoi ces électrons positifs particuliers ne donneraient-ils plus le même phénomène lorsque la symétrie cristalline fait défaut ? S'il y a de

électrons positifs, avec une grande valeur de $\frac{e}{m}$, dans certaines molécules présentes dans le xénotime par exemple, on devrait les retrouver dans les liquides ou les vapeurs obtenues en partant de cette substance.

L'hypothèse des électrons positifs mériterait quand même d'être soutenue, s'il y avait une objection insurmontable à toute autre espèce d'explication, en particulier à toute explication par les anciens électrons négatifs. Le fait que les changements magnétiques observés sont indépendants de la température est-il vraiment un argument ayant cette valeur décisive?

Il paraît bien en être ainsi si l'on admet que la formule à laquelle conduit la théorie de Lorentz est applicable sans modifications : dans cette formule

ne figurent, en effet, que le rapport $\frac{e}{m}$ relatif à l'électron, et le champ H.

Pour expliquer le phénomène inverse il faudrait admettre que H n'est pas le champ fourni par l'électro-aimant, mais un champ qui lui serait proportionnel, tout en ayant une direction opposée. Un tel champ s'observerait au voisinage d'une substance paramagnétique, mais il varierait alors avec la température : comme le rapport $\frac{e}{m}$ n'en dépend pas, la grandeur de l'effet Zeeman devrait changer avec la température.

Mais la théorie en question n'est qu'une première approximation : en réalité, comme on sait, même dans le cas des raies qui deviennent des *triplets purs*, l'écart entre les composantes qu'elle permet de calculer n'est pas celui qu'on observe, et il n'y a pas, comme on l'a cru quelque temps, de *triplet normal* de Zeeman. Il y a alors une première façon — bien artificielle il est vrai — de lever l'objection : elle consisterait à admettre que, dans la formule exacte qui doit, dans le cas des cristaux paramagnétiques, remplacer celle de Lorentz, figurent des coefficients variant, eux aussi, avec la température, de telle sorte qu'une compensation pourrait s'établir. Il resterait à montrer comment la théorie doit être précisée.

De toute façon il est certain que les faits importants découverts par M. J. Becquerel, puis par M. Dufour, conduisent à modifier profondément les théories électroniques du phénomène de Zeeman. Peut-être obligeront-ils à admettre que ces théories ne s'appliquent pas à ce phénomène. Il vaudrait mieux, en tout cas, y renoncer franchement que de multiplier les hypothèses sur les électrons, que d'admettre en particulier que les électrons qu'on suppose dans un cristal ne conservent pas les mêmes propriétés et donnent des phénomènes de grandeur différente quand on dissout ce cristal.

M. Jean BECQUEREL ajoute les observations suivantes :

M. Cotton a exprimé l'opinion que, dans le cas des cristaux, on peut imaginer des actions particulières aux corps cristallisés.

Cette objection ne s'applique pas aux *solutions* qui, elles aussi, donnent lieu à des phénomènes de même nature et pour lesquelles la moitié des bandes se déplacent dans le sens correspondant à des électrons positifs.

M. Jean Becquerel pense que la grandeur et la diversité du phénomène, dans certains cristaux, peut résulter de la variabilité de la *masse électromagnétique* des électrons à l'intérieur de l'atome. Cette hypothèse fort simple est conforme à nos connaissances sur la dynamique de l'électron (voir PELLAT, *Comptes rendus*, t. CXLV, 1907, p. 613) et rend compte, comme il vient d'être dit dans la première communication, de la variabilité de l'écartement des composantes d'une même bande, suivant l'orientation des directions principales par rapport au champ.

M. Jean Becquerel est frappé par la complexité des considérations qu'il faut imaginer pour expliquer, sans admettre les électrons des deux signes, *l'invariabilité du changement de période d'un système oscillant quelle que soit la température et même s'il s'agit d'une solution quelles que soient la concentration et le solvant*. Les hypothèses auxquelles on se trouve conduit sont purement gratuites, car elles ne reposent sur aucune base expérimentale.

Au contraire, l'hypothèse de l'existence simultanée d'électrons positifs et négatifs, possédant une masse électromagnétique, non seulement rend compte des phénomènes précédents, mais aussi explique un grand nombre de propriétés des métaux (conductibilité, phénomène de Hall, etc.). Dans ces conditions, l'hypothèse de l'existence des électrons positifs, étant la plus simple, doit être admise jusqu'à preuve du contraire.

SÉANCE DU 19 JUIN 1908.

PRÉSIDENT DE M. BRILLOUIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 juin est lu et adopté.

M. le Dr Defoix, présenté dans la dernière séance, est élu Membre de la Société.

Est présenté pour faire partie de la Société :

M. KOPPEL (Jean), Professeur de Physique au Gymnase de Luxembourg.

Il sera statué sur son admission dans la séance du 3 juillet.

M. le PRÉSIDENT fait part à la Société de la perte douloureuse qu'elle vient de faire en la personne de M. Jean-Ferdinand RODDE.

M. le PRÉSIDENT annonce que M. GAUMONT fait don à la Société de Physique d'un grand appareil de projection. De vifs applaudissements accueillent cette communication : le Bureau est chargé de transmettre à M. Gaumont les remerciements de la Société.

Sur le lutécium et le néoytterbium, constituants de l'ancien ytterbium; par M. G. URBAIN. C'est en déterminant le poids atomique de l'ytterbium que M. G. Urbain s'est rendu compte de la complexité de cet élément. Conformément à une règle qu'il a constamment appliquée à l'étude des terres rares, l'auteur ne s'est pas borné à déterminer le poids atomique de l'ytterbium pur. Il a voulu s'assurer que le poids atomique de cet élément était constant, et a soumis à de nouvelles cristallisations cette terre alors qu'elle présentait des caractères suffisants de pureté. Dans ces conditions il a constaté que les termes successifs de ses fractionnements de nitrates n'avaient pas le même poids atomique. Le poids atomique correspondant aux produits les moins solubles était plus faible que le poids atomique correspondant aux fractions les plus solubles. Une comparaison entre les spectres des fractions extrêmes révéla, dans celui des terres les plus solubles et de poids atomique le plus élevé, des raies fortes de l'ytterbium qui faisaient défaut dans les spectres des terres de poids atomique

plus faible. M. Urbain a donné le nom de *lutécium* au constituant de l'ytterbium qui donne ce spectre et dont le poids atomique est voisin de 174.

Il a donné à l'autre constituant de l'ytterbium le nom de *néoytterbium*.

Outre le spectre de lignes, l'ancien ytterbium présente un spectre de bandes d'étincelles qui permet à M. de Boisbaudran de caractériser spectroscopiquement l'ytterbium de Marignac.

Les bandes de ce spectre ont été désignées par des lettres grecques : α , β , γ , δ_1 , δ_2 , ... Ces cinq bandes sont les plus aisément observables. M. Urbain a constaté que la bande γ , absente dans le spectre du néoytterbium, est fort intense dans le spectre des terres lutécifères et caractérise, en conséquence, le lutécium (*Comptes rendus*, 4 novembre 1907).

Les bandes α , β , δ_1 , δ_2 , seules visibles dans le néoytterbium, ne conservent pas, ainsi que l'auteur s'en est assuré par des fractionnements ultérieurs, leurs intensités relatives. Les bandes δ , beaucoup plus faibles que les bandes α et β dans les terres voisines du lutécium, augmentent d'intensité relative dans les terres de poids atomique plus faible.

Il n'est pas douteux que les bandes δ ne caractérisent pas le même élément que les bandes α et β . L'auteur n'hésiterait pas à affirmer que le néoytterbium est lui-même complexe, si les produits où il a observé les bandes δ avec leur éclat maximum ne renfermaient du thulium. Il est en effet possible, bien que peu probable, que le thulium émette lui-même deux bandes fort voisines des bandes δ , qui viendraient ainsi se superposer partiellement à ces bandes du néoytterbium, en donnant l'illusion d'une complexité de cet élément.

L'auteur a entrepris de nouvelles recherches dans le but d'établir si les phénomènes observés sont attribuables au thulium ou à un dédoublement du néoytterbium. Il signale qu'il n'a pu obtenir jusqu'ici de néoytterbium de poids atomique constant.

Il termine sa communication en faisant remarquer que M. Auer von Welsbach a publié un mois après lui, sous le nom de *spectre du Cassiopeïum*, le spectre du lutécium en omettant de le citer, tout en faisant une allusion indirecte à cette antériorité.

Les nouvelles déterminations du rapport v des unités électriques et l'accord avec les mesures de la vitesse de la lumière; par M. Edward-B. ROSA. — M. Henri ABRAHAM présente un résumé des travaux de MM. ROSA et DORSEY sur la détermination du rapport v des unités électromagnétiques et électrostatiques.

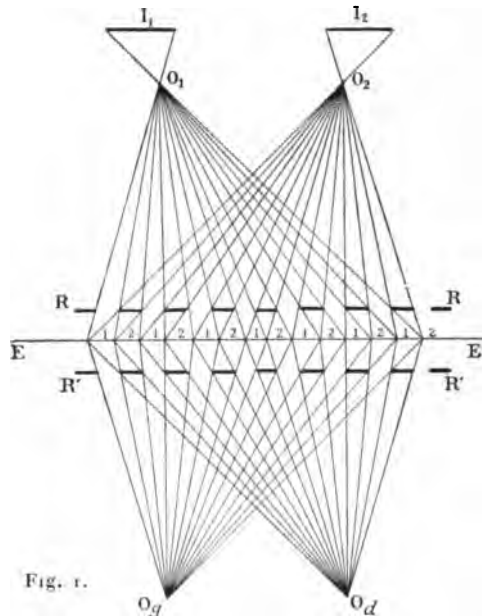
Les mesures de MM. Rosa et Dorsey ont été faites par la méthode des décharges répétées d'un condensateur étalon. Le courant quasi continu obtenu est compensé par un dispositif de pont de Wheatstone ou par l'emploi d'un galvanomètre différentiel.

Les condensateurs étalons ont été des condensateurs sphériques, des condensateurs cylindriques et un condensateur plan. On a varié beaucoup les conditions des expériences (potentiel et fréquence des décharges, types de galvanomètres, etc.), et toutes les déterminations se sont trouvées concorder à environ un dix-millième près. La moyenne générale des expériences conduirait à adopter pour la constante v rapportée au vide la valeur $v = 2,997.10^{10}$. Cette valeur ne diffère que d'un deux-millième en moins de la valeur la plus probable de la vitesse de la lumière.

Projection stéréoscopique; Écran stéréoscope; par M. Eugène ESTANAVE. — En résumé, l'écran stéréoscope à réseaux lignés imaginé par l'auteur permet de faire la synthèse des vues stéréoscopiques qu'on projette sur cet écran. Le problème qu'il résout est celui de partager une surface

plane en deux plages : l'une visible exclusivement à un œil, l'autre visible à l'autre; ces plages ne sont pas continues, mais formées de bandes parallèles qui, grâce à la finesse des traits des réseaux utilisés, sont très voisines, en sorte que les images projetées, bien que discontinues, paraissent continues.

L'écran de projection se compose de deux réseaux lignés à lignes parallèles, séparés par une glace dépolie. L'un des réseaux RR (*fig. 1*), placé en avant de la glace dépolie EE' , sert à effectuer cette séparation en plages notées 1, 1, 1, ... et 2, 2, 2, ... et à localiser dans chacune d'elles les images de I_1, I_2 du couple stéréoscopique qu'on projette à l'aide d'objectifs O_1, O_2 . L'autre réseau $R'R'$, placé de l'autre côté de la glace dépolie, permet à chaque œil O_g, O_d de voir seulement les lignes 1, 1, 1, ... et 2, 2, 2, ... qui constituent les deux images stéréoscopiques.



En effet, l'œil O_g verra seulement les bandes-images notées 1, 1, 1, ... correspondant à l'image I_1 , et l'œil O_d verra seulement les bandes notées 2, 2, 2, ... correspondant à l'image I_2 .

Les autres bandes étant cachées respectivement à chaque œil par les traits opaques du réseau d'observation $R'R'$.

L'écran est disposé de façon que les lignes des réseaux soient verticales, c'est-à-dire perpendiculaires à la direction $O_1 O_2$. Les objectifs sont suffisamment rapprochés pour donner sur l'écran des images qui empiètent l'une sur l'autre et dont certains points homologues coïncident. Ainsi sont réalisées les deux conditions nécessaires à la perception du relief au moyen d'images, savoir :

- 1° Observer au même endroit deux perspectives de l'objet;
- 2° Observer de façon que chaque œil ne voie que l'image qui lui correspond.

Ce même écran de projection qu'on fait pivoter de 90° , de façon à rendre les lignes des réseaux horizontales, peut servir à l'obtention d'images à aspect changeant, suivant l'angle de vision de l'observateur.

Si, dans la figure 1, O_A et O_d ne sont plus les yeux d'un même observateur, mais la projection des yeux de deux observateurs différents, l'observateur O_A verra par exemple seulement l'image de I_1 et l'observateur O_d verra seulement l'image de I_2 . Ces images étant différentes, les observateurs verront dans la même région de l'écran deux images différentes.

M. Estanave a obtenu le même résultat en constituant des écrans avec des réseaux formés de points, et non de lignes; mais les images paraissent moins agréables à observer.

M. GUILLOZ rappelle qu'il s'est occupé depuis longtemps des questions relatives au relief des ombres (*Société française de Physique*, 21 mars, 3 et 5 avril 1902, 6 mars 1903; *Comptes rendus*, 2 janvier, 1^{er} avril 1902, 9 mars 1903; *Rapport au Congrès de Radiologie de Milan*, septembre 1906). Cela l'a amené, en dehors des procédés à éclipses, à utiliser pour le triage des images en Radiologie stéréoscopique la méthode des réseaux (*Société de Médecine de Nancy*, 23 nov. 1904; *Société de Biologie*, 13 déc. 1904), dès que son attention fut attirée sur ce point par la communication de M. Violle (*Comptes rendus*, 29 oct. 1904).

Les applications de ces méthodes à la radiologie médicale l'ont seules occupé; elles l'ont intéressé parce qu'on y trouve, outre l'observation stéréoscopique, un moyen de mensuration rapide et exact quand on se place dans les conditions qu'il a établies. A la dernière exposition de la Société de Physique, M. Estanave a montré avec M. Gaiffe des radiographies stéréoscopiques lignées, et à ce sujet M. Guilloz demande à M. Estanave si dans la réalisation de ces épreuves il a apporté une contribution nouvelle.

M. ESTANAVE reconnaît que l'antériorité des applications de la méthode des réseaux à la radiographie et à la radioscopie revient à M. Guilloz, et que les épreuves présentées auraient pu l'être sous le titre de : *Stéroradiographie*, méthode de M. Guilloz, par M. Estanave. Mais il estime qu'il lui revient entièrement d'avoir appliqué de son côté la méthode des réseaux à la projection stéréoscopique des photographies ordinaires, ce que M. Guilloz reconnaît bien volontiers puisqu'il dit ne pas s'en être occupé.

SÉANCE DU 3 JUILLET 1908.

PRÉSIDENCE DE M. DESLANDRES.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 juin est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. DE GAND (Roger), à Caen.

KOPPÈS (Jean), Professeur de Physique au Gymnase de Luxembourg.

PERCY (Phillips), Professor of Physics, Royal Veterinary College, London (Angleterre).

SCHMID (Walther), Licencié en Mathématiques, Dr ès sciences physiques, à Neuchâtel (Suisse).

TEISSIER, Professeur à l'École Colbert, à Paris.

Recherches sur les propriétés optiques des solutions et des corps dissous; par M. C. CHÉNEVEAU. — Si l'on admet que la contraction de volume, due à la solution d'un corps, entraîne, aux erreurs d'expérience près, une variation équivalente de l'indice de réfraction, on peut trouver l'influence du corps dissous dans un seul solvant sur la propagation de la lumière, soit dans le cas où la loi de Gladstone (Beer et Landolt) $\frac{n-1}{d} = \text{const.}$, soit dans le cas où la loi de Lorentz (Lorenz)

$\frac{n^2-1}{(n^2+2)d} = \text{const.}$, sont applicables. On peut, en effet, montrer d'abord

que pour la solution $n-1$ ou $\frac{n^2-1}{n^2+2}$ est la somme de deux termes :

l'un $\Delta_1 = n_s - 1$ ou $\Delta_2 = \frac{n_s^2-1}{n_s^2+2}$ provenant du corps dissous, l'autre $n_c - 1$

ou $\frac{n_c^2-1}{n_c^2+2}$ provenant du solvant, et ensuite qu'on peut calculer l'indice actuel du solvant dans la dissolution en supposant vraies la loi de Gladstone ou la loi de Lorentz pour les variations de l'indice avec le volume.

L'influence du corps dissous sur la propagation de la lumière, ainsi déterminée par différence entre l'action optique de la solution, obtenue expérimentalement, et celle du solvant, qu'on peut calculer, a été d'abord étudiée dans les dissolutions aqueuses; mais cette manière d'opérer est générale et permet également d'obtenir l'influence du corps dissous dans plusieurs solvants à la fois.

Quelle que soit la loi reliant l'indice à la densité, cette influence optique du corps dissous Δ est sensiblement proportionnelle à la concentration C (teneur en grammes par litre). Ce résultat est intéressant parce qu'il n'y a pas de relation simple entre l'indice n et la composition de la solution en volume v , ni le pourcentage en poids p , ni la concentration C . J'ai proposé de donner au rapport $K = \frac{\Delta}{C}$ le nom de *constante optique* du corps dissous.

Cette constante optique, qui varie peu avec la température ⁽¹⁾, a une valeur particulière pour chaque radiation de longueur d'onde déterminée.

Pour les sels surtout, l'influence du corps dissous sur la marche des rayons lumineux paraît bien être une propriété atomique additive, indépendante de l'état d'ionisation du corps dissous, ne dépendant pas non plus des hydrates qui ont pu se former dans la solution ⁽²⁾. Ce résultat est en accord avec les expériences faites sur les solutions très diluées.

En appelant *pouvoir réfringent moléculaire* du corps dissous le produit KM de la constante optique par le poids moléculaire, et en définissant le *pouvoir réfringent équivalent* d'un sel comme le quotient du pouvoir réfringent moléculaire par la valence qui unit les deux ions dans la molécule ionisable, on peut énoncer les lois suivantes :

1° La différence des pouvoirs réfringents équivalents de deux sels de

⁽¹⁾ La variation de la constante optique avec la température, appréciable seulement pour des écarts notables de température (40° à 50°), ne paraît due qu'à la variation de volume par la dilatation.

⁽²⁾ Il y a lieu de faire remarquer ici que les courbes représentant les indices des solutions de certains corps (acide sulfurique, alcool, etc.) en fonction de v , p ou C , passent par un maximum qui correspond à un hydrate défini et qu'il n'est guère possible de mettre en évidence d'autres hydrates à l'aide de ces courbes.

bases B et B' unies à un même acide est un nombre indépendant de la nature de l'acide;

2° La différence des pouvoirs réfringents équivalents de deux sels de groupes acides A et A' unis à une même base est un nombre indépendant de la nature de la base.

Cependant, de ces lois approchées, il est impossible de former des modules pour les différents ions. Le pouvoir réfringent moléculaire, pour un groupe défini de sels, varie approximativement comme la racine carrée du poids moléculaire.

La constante optique du corps dissous dans l'eau diffère peu de la valeur obtenue lorsque le corps est en solution dans un autre solvant. J'ai montré alors que, puisque l'ionisation agit très peu sur la réfraction du corps dissous, toute anomalie optique sera, en l'absence d'impuretés du solvant ou du corps dissous, l'indice d'une combinaison chimique au sein de la dissolution. On peut donc ainsi étudier ce qui se passe dans une solution sans l'altérer et dans les conditions mêmes où elle se trouve. Comme applications pratiques de cette remarque, on peut signaler : le dosage de l'eau contenue dans un sel cristallisé ou dans une solution, la recherche de l'état d'un corps en solution et celle d'une combinaison possible en solution.

Le corps dissous paraît bien se comporter, au point de vue optique, comme un gaz, et l'on peut déduire des conséquences intéressantes de cette analogie. De nouvelles expériences sur un même corps à l'état non dissous, puis dissous, seraient nécessaires pour décider si la constante est ou n'est pas la même dans les deux cas.

La loi de Lorentz paraît mieux s'appliquer que celle de Gladstone aux dissolutions ne donnant lieu qu'à une faible variation de volume, c'est-à-dire à celles qui se rapprochent le plus du simple mélange.

Tandis que les lois de Gladstone et de Lorentz paraissent sensiblement équivalentes quand on considère uniquement l'action du corps dissous sur la réfraction, la loi de Lorentz paraît également plus exacte que les lois de Gladstone et de Newton, si l'on tient compte de la dispersion. Si l'on considère la dispersion comme fonction de l'absorption, on peut appliquer la théorie des électrons au calcul d'une formule de dispersion reliant la constante optique K du corps dissous à la longueur d'onde λ . Il faut supposer pour cela, suivant la méthode de Drude pour les corps solides, liquides ou gazeux, que, pour les corps dissous à dispersion normale (c'est-à-dire ne présentant qu'une ou plusieurs bandes d'absorption dans l'infra-rouge ou l'ultra-violet), les vibrations propres dans l'infra-rouge sont produites par la masse pondérable, chargée positivement, des atomes ou de la molécule, tandis que les vibrations propres dans l'ultra-violet sont dues à des électrons chargés négativement.

Le calcul donne aussi la limite inférieure du nombre total d'électrons, agissant dans une molécule dissoute sur la réfraction et la dispersion de la lumière. Cette limite inférieure est une propriété additive des groupes d'atomes qui forment la molécule dissoute et, fait intéressant, elle paraît toujours être de l'ordre de grandeur de la valence de la molécule, c'est-à-dire la somme des valences des deux ions dans une molécule ionisable.

Influence du milieu sur les mouvements browniens; par M. Victor HENRI. — Dans la séance du 15 mai, M. V. Henri a indiqué la technique de mesure des mouvements browniens et les premiers résultats relatifs à ces mouvements dans l'eau distillée. Il a entrepris l'étude des phénomènes de coagulation et d'agglutination en faisant des cinématographies microscopiques d'émulsions très fines additionnées de quantités variables de l'agent coagulant. Les résultats que l'auteur avait présentés ont été obtenus avec

le latex de caoutchouc dilué environ 500 fois; la grosseur des grains est en moyenne de 1μ .

Dans une communication antérieure (15 février 1907), l'auteur avait montré que le latex de caoutchouc est coagulé par des acides et que ce même latex est agglutiné par l'addition d'alcalis; dans le premier cas les granules se réunissent entre eux en formant un réseau à mailles très fines; avec les alcalis, au contraire, on obtient des amas de granules irréguliers ne présentant aucune structure définie.

M. V. Henri a fait des microphotographies cinématographiques avec un grossissement de 600 diamètres de latex dilué, additionné de quantités croissantes d'acide chlorhydrique ou acétique, de soude, d'urée et d'alcool, et il a étudié les images obtenues pour des doses de ces corps qui ne produisent pas de coagulation. L'urée a été choisie comme type d'un corps qui ne coagule pas le latex et qui n'est pas un électrolyte; l'alcool est un coagulant.

RÉSULTATS. — *Les mouvements browniens sont ralentis par l'addition d'un agent coagulant avant le phénomène de coagulation. En présence d'alcali, ces mouvements sont deux fois plus lents et, en présence d'acide, ils sont neuf fois plus faibles que dans l'eau distillée.*

Les trois figures projetées représentent les trajectoires des mouvements des granules dans l'eau distillée, dans la soude $\frac{1}{10}$ normale et dans l'acide chlorhydrique $\frac{1}{32}$ normale; ces trajectoires sont tracées à la même échelle et l'intervalle de temps entre deux positions successives d'un granule est égal à $\frac{1}{20}$ de seconde.

Les mesures des déplacements correspondant à $\frac{1}{20}$ de seconde ont donné en moyenne :

	μ
Dans l'eau distillée	0,62
Dans la soude $\frac{1}{10}$ N.....	0,31
Dans HCl $\frac{1}{32}$ N.....	0,07

Ces nombres sont des moyennes de déplacements moyens pour dix granules dans la solution alcaline et douze granules dans l'acide; voici les valeurs de ces déplacements moyens :

	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ
Eau dist.	0,58	0,55	0,52	0,56	0,70	0,64	0,67	0,71	0,55	0,70	"	"	"
Alcali...	0,27	0,37	0,23	0,25	0,31	0,38	0,37	0,27	0,27	0,37	"	"	"
Acide...	0,05	0,06	0,05	0,07	0,06	0,06	0,07	0,10	0,08	0,05	0,08	0,08	0,08

Avec de l'acide acétique on obtient le même ralentissement; seulement on est obligé de prendre de l'acide beaucoup plus dilué, égal à $\frac{1}{1000}$ normale; il faut remarquer que l'acide acétique coagule le latex pour une dose bien plus faible que l'acide chlorhydrique.

L'auteur s'est demandé si ce ralentissement des mouvements browniens qui se produit avant la coagulation n'était pas dû à des variations d'électrisation des granules produites par les ions H ou OH; pour examiner cette question il a fait des cinématographies de latex additionné d'alcool; dans ce cas, on trouve avant la coagulation un ralentissement tout aussi intense que celui obtenu avec l'acide. Enfin l'addition d'un corps comme l'urée, qui ne coagule pas le latex, ne change pas les mouvements browniens.

Il semble que l'on doive chercher l'explication de ces phénomènes dans l'adsorption de l'agent coagulant par les granules du latex; en effet, des mesures d'adsorption ont montré que ces granules adsorbent un peu les alcalis et qu'ils adsorbent très fortement les acides; il se formerait donc autour de chaque granule une zone d'adsorption contenant des molécules de l'agent coagulant qui sont retenues par le granule, et c'est cette liaison

entre les granules et le coagulant qui produisait le ralentissement des mouvements browniens.

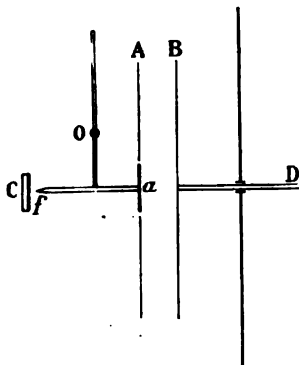
Électromètre absolu à torsion de M. E. Salmon, présenté par M. A. DUBOWSKI. — Cet appareil est une modification de l'électromètre absolu de Thomson.

Il se compose de deux plateaux métalliques A et B, parallèles et verticaux, disposés dans une cage dont les parois en verre sont garnies intérieurement d'un treillage métallique formant écran électrique.

B, supporté par une tige de verre horizontale, peut subir des déplacements parallèles qu'on mesure en déterminant au sphéromètre les déplacements de l'extrémité D de la tige de verre.

A est annulaire et sert d'anneau de garde; un léger disque α , en aluminium, s'engage exactement dans l'ouverture de A; il est porté par une aiguille à deux branches rectangulaires Ofa suspendue par un fil de torsion qui se projette en O et qui est disposé comme dans une balance de Coulomb.

La course du disque α est limitée, d'une part, par deux fils de cocon tendus en croix sur la face interne du plateau A; d'autre part, par une



pointe f qui vient heurter une plaque de verre e , avec coïncidence de la pointe et de son image.

L'anneau de garde et le disque α sont en communication avec le sol. B est porté au potentiel V qu'on veut mesurer. Par une torsion convenable du fil O, on amène α dans le plan de l'anneau de garde. Pour déterminer V on n'a qu'à appliquer la formule de l'électromètre de Thomson :

$$V = e \sqrt{\frac{8\pi F}{s}}.$$

La force F est proportionnelle à l'angle de torsion α et l'on a, par suite, pour les mesures relatives, la relation

$$V = Ke\sqrt{\alpha}.$$

Pour les mesures absolues, en remplaçant s par πr^2 , r étant le rayon du disque, on a

$$V = \frac{e}{r} \sqrt{8\pi \alpha},$$

φ étant la force s'exerçant sur le centre du disque pour une torsion de 1° . Cette force φ peut être déterminée en équilibrant une torsion donnée ξ par la composante horizontale d'un poids mg s'appuyant au centre du disque et suspendu à un fil maintenu dans une position oblique par rapport à ce disque.

M. Salmon a pu, avec cet électromètre, déterminer avec une erreur relative d'environ $\frac{1}{100}$ des potentiels très variables pouvant aller depuis une vingtaine de volts jusqu'à environ 40000 volts.

L'appareil est d'ailleurs facilement maniable, même par des mains inexpérimentées, et pourrait par suite rendre des services pour les exercices pratiques effectués par les élèves des lycées.

Recherches sur les mobilités des ions dans les gaz, par M. BLANC; présenté par M. LANGEVIN. — Un plateau métallique A, entouré d'un anneau de garde, communique avec l'électromètre : il est d'abord au sol et on l'isole pour faire une mesure. En face de A, à la distance a , est une toile métallique B et derrière B un autre plateau C. On établit entre B et C une différence de potentiel constante produisant un champ dirigé, par exemple, de C vers B, si l'on veut mesurer la mobilité des ions positifs. Entre B et A on crée un champ alternatif de période T : pendant une demi-période, une différence de potentiel V produit un champ dirigé de B vers A; pendant la demi-période suivante, une différence de potentiel V', égale ou supérieure à V et de signe contraire, produit un champ de A vers B.

On ionise le gaz entre B et C à l'aide d'un faisceau étroit de rayons Röntgen; les ions positifs traversent la toile métallique quand le champ alternatif est dirigé de B vers A. Le plateau A commence à recevoir des charges quand V a la valeur V_0 telle que

$$k_1 = \frac{2a^2}{V_0 T}.$$

On fait varier V en laissant V' constant et l'on mesure l'intensité recueillie par l'électromètre; on obtient, en fonction de V, une droite qui coupe l'axe des abscisses pour la valeur V_0 , d'où l'on déduit la mobilité k_1 .

Cette méthode a servi à mesurer les mobilités des ions dans des mélanges à pression constante d'air et de gaz carbonique, de gaz carbonique et d'hydrogène; ces gaz étaient préparés et desséchés avec le plus grand soin.

Les courbes qui représentent les inverses des mobilités en fonction de la pression de l'un des gaz dans le mélange sont des lignes droites dans tous les cas.

Si ρ' et ρ'' sont les densités des deux gaz dans le mélange, ρ_1 celle des ions considérés, u_1 la vitesse de ces ions, les quantités de mouvement échangées dans l'unité de temps par les ions avec les molécules des deux gaz sont $A'_1 \rho' \rho_1 u_1$ et $A''_1 \rho'' \rho_1 u_1$. On en déduit facilement

$$\frac{1}{k_1} = \frac{m_1}{e} (A'_1 m' n' + A''_1 m'' n'');$$

n' et n'' sont les nombres de molécules des deux gaz par centimètre cube, m' et m'' leurs masses, m_1 celle d'un ion dont la charge est e .

Les résultats précédents montrent que les produits $A'_1 m' m_1$ et $A''_1 m'' m_1$ sont sensiblement constants quand la composition du mélange varie. Si l'on prend pour A'_1 l'expression donnée par Langevin dans le cas où les chocs entre ions et molécules ont une importance négligeable, on en déduit

que la quantité $\sqrt{\frac{m_1}{m' + m_1}}$ est à peu près invariable. Cela exige, si la

masse m , dépend de la composition du mélange, que cette masse soit notable par rapport à m' : l'ion doit donc être formé par un groupement de molécules. C'est le résultat déduit déjà par Langevin de la valeur même des mobilités.

On peut se demander ce que devient le groupement quand l'ion est transporté d'un gaz dans un autre, du gaz carbonique dans l'air par exemple. Le plateau C est placé au fond d'un cristalliseur qu'on remplit jusqu'au bord de CO_2 ; la grille B et le plateau A sont au-dessus du niveau du CO_2 , dans l'air; les ions sont produits dans le CO_2 , amenés dans l'air entre A et B, où l'on mesure leur mobilité.

La mobilité dans l'air d'un ion produit dans le CO_2 est exactement la même, quel que soit son signe, que si cet ion avait été produit directement dans l'air.

Ce résultat pourrait encore s'expliquer par la constance des produits $A_1 m m_1$, etc. (en fonction desquels s'expriment les mobilités), donc par la grosseur notable des ions. Mais il est probable aussi que le groupement qui constitue l'ion échange constamment des molécules avec le gaz ambiant, de sorte qu'il se détruit en passant du premier gaz dans le second pour se reformer avec des molécules de celui-ci.

Observations sur le temps employé par les corps pour se dissoudre; par M. Gaston GAILLARD. — M. G. Gaillard résume les recherches précédentes qu'il a faites sur le temps que la précipitation met à apparaître dans les solutions d'hyposulfite, pour montrer comment il a été amené à étudier, au même point de vue, la dissolution des corps, et quel est l'in térêt de cette étude.

Parmi les observations qu'il a pu obtenir, malgré les nombreux facteurs qu'ont mis en évidence G.-A. Hulett, Boyer-Guillon, J. Schürr, Brunner et Tolloczsko, et qui rendent fort difficile toute observation de ce genre, il indique pour des quantités croissantes le rapport des durées à la concentration obtenue et la variation du temps pour un même poids de sel mis à dissoudre dans des solutions de plus en plus concentrées.

Avec divers sels, mais pour lesquels il est difficile de donner des résultats comparatifs, à cause des formes différentes qu'ils revêtent, il fait remarquer :

Que, pour certains d'entre eux, il se manifeste des relations avec la nature de leur acide ou le poids de leur métal;

Qu'on constate également un rapport entre la valeur de la solubilité et celle du temps employé, et que, dans certains cas, en faisant varier la température, on voit la courbe des inverses des temps avec une allure comparable à celle de la solubilité; mais des sels ayant des coefficients voisins peuvent employer des temps notablement différents, et la variation du temps avec la température ne suit pas toujours celle de la solubilité, comme cela est à remarquer plus spécialement avec le sulfate de soude ou de chaux.

D'après ces expériences et celles faites précédemment sur la précipitation, l'auteur dit qu'on peut se demander s'il n'y a pas, pour chaque corps, une valeur de temps fondamentale. Il semble qu'on pourrait, pour chaque substance, dégager alors la notion d'une sorte de chimiochronicité; l'étude de la valeur propre du temps employé par chaque élément dans ses combinaisons permettrait aussi de se rendre plus complètement compte des forces qui entrent en jeu dans toute action chimique et d'en mieux déterminer l'économie.

SÉANCE DU 20 NOVEMBRE 1908.

PRÉSIDENTE DE M. BRILLOUIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 juillet est lu et adopté.

Les personnes dont les noms suivent sont présentées pour être Membres de la Société. Il sera statué sur leur admission dans la séance du 4 décembre :

MM. AROLES, Professeur au Lycée de Toulouse.

BERTHET, Ingénieur de la Marine, au Ministère de la Marine.

DANYSZ, Etudiant, à Paris.

EINSTEIN (Albert), D^r ès sciences, Expert physicien au Bureau fédéral de la Propriété intellectuelle, à Berne (Suisse).

MALFREYT (Jules), Professeur au Lycée de Saint-Étienne.

OLLIVE (Samuel-Frédéric), Professeur au Lycée de Bastia.

REUFFLET (A.), Professeur à l'Ecole Turgot, à Paris.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL signale parmi les pièces imprimées de la correspondance les Ouvrages suivants :

Henry LE CHATELIER : *Le Carbone, la Combustion, les Lois chimiques, Leçons professées à la Faculté des Sciences.*

Bernard BRUNHES : *La Dégénération de l'énergie.*

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL annonce l'envoi des deux Notes suivantes de M. Albert NODON :

1° *Perturbation dans la charge terrestre.* — 2° *L'influence électrique du Soleil sur la Physique du globe terrestre.* (Manuscripts.)

Pour des raisons d'ordre matériel, la Communication de M. VILLARD sur les instruments de mesure pour les rayons X est remise à une date ultérieure.

L'installation prochaine du courant continu dans la salle des séances permettra, en outre, de réaliser les expériences dans de meilleures conditions.

Sur l'induction unipolaire et la cause probable des aurores polaires.

— M. P. VILLARD communique à la Société les résultats de ses récentes recherches sur l'induction :

Dans l'expérience classique de l'induction unipolaire, l'aimant n'est le siège d'aucun couple d'entraînement; la réaction exigée par la loi de Lenz se produit entre la partie mobile et la partie fixe du circuit, et non entre l'aimant et la partie mobile. Cette manière de voir, conforme aux idées d'Edlund, conduit à admettre avec Vaschy que la rotation d'un aimant cylindrique autour de son axe n'entraîne pas la rotation du champ, et que les phénomènes d'induction ne sont nullement modifiés quand l'aimant, au lieu d'être fixe, est attaché au circuit mobile.

On sait qu'un circuit métallique fermé tournant autour d'un aimant n'est le siège d'aucun courant induit; inversement, s'il est parcouru par un courant, il ne tend pas à tourner. L'expérience prouve que, si l'on remplace une partie du conducteur métallique par un arc, la rotation se produit, indiquant, d'après le principe de la réversibilité, que ce circuit particulier est,

pendant son mouvement, le siège d'une force électromotrice d'induction. Il est, d'ailleurs, indifférent que l'aimant, autour duquel tourne l'appareil, soit lié ou non à ce dernier; les actions et réactions s'exercent entre le conducteur métallique et les ions s'échappant de l'arc sous l'influence du champ.

M. VILLARD montre que la Terre, tournant dans son propre champ, constitue un système analogue au précédent : dans chaque hémisphère, le sol conducteur est le siège d'une force électromotrice (100 000 à 150 000 volts) qui peut donner lieu à des décharges atmosphériques qui ne ferment pas le circuit au point de vue induction et ne neutralisent pas la force électromotrice induite dans le sol. Ces décharges se produiraient à l'altitude pour laquelle la raréfaction de l'air est telle que le potentiel explosif ne dépasse pas 100 000 volts pour une distance égale à un quadrant terrestre. Cette altitude étant considérable, il se produirait des rayons cathodiques dont l'enroulement dans le champ terrestre donnerait la nappe en éventail que l'auteur considère comme identique à l'aurore polaire. La communication électrique entre cette couche atmosphérique et le sol se ferait par les ions des couches inférieures et serait ainsi sous la dépendance des conditions météorologiques et de l'activité solaire. L'altitude calculée par la loi de Paschen est de 100 à 150 kilomètres (valeur du minimum nécessaire); elle est tout à fait de même ordre que celle qu'on attribue généralement à l'aurore.

M. M. MOULIN fait remarquer que les ions de l'arc, soufflés par le champ magnétique, exercent sur l'air ambiant une force qu'il est facile de calculer et qui est la même que celle qui serait exercée sur un conducteur fluide quelconque ou sur un conducteur métallique. Si l'on supposait que le milieu ambiant soit un électrolyte et que les conducteurs soient gainés d'isolant, on observerait la même rotation que dans le cas où le circuit est fermé par un arc.

Le mouvement du fluide ambiant par rapport aux conducteurs métalliques importe seul, comme l'indique d'ailleurs le fait qu'aucune réaction ne s'exerce sur l'aimant. Si les conducteurs sont fixes, le fluide ambiant se déplace et la mise en mouvement de ce fluide implique une absorption de puissance à laquelle est liée une force contre-électromotrice dont le siège est nécessairement dans l'arc si le fluide est un gaz. On peut voir facilement qu'un courant d'air, modifiant la vitesse relative de l'air par rapport au circuit, c'est-à-dire le soufflage, doit produire une variation correspondante de cette force électromotrice.

Si le gaz est supposé lié aux conducteurs et que l'ensemble soit mobile, aucune force ne s'exercera au total sur cet ensemble; sa rotation ne produira aucune force électromotrice dans le circuit. Il en sera de même si l'on enferme l'arc dans un récipient clos, par suite de la réaction du gaz sur les parois, réaction qui est égale à l'action électromagnétique sur l'air, et par conséquent égale et inverse à l'action électromagnétique qui s'exerce sur le reste du circuit.

Dans le cas de la terre et de l'atmosphère liée à la terre, il est facile de voir que la force électromotrice totale le long d'un circuit fermé est nulle et que les courants auxquels Edlund et M. Villard croient pouvoir attribuer les aurores boréales ne pourront prendre naissance.

L'influence du vent a été examinée par M. Schuster (1).

M. VILLARD pense que l'expérience dans un électrolyte revient exactement à celle des contacts glissants; dans le cas de l'arc, on a, au contraire,

(1) *Bulletin Soc. phys.*, 1907.

un circuit fermé, de forme invariable, entraîné en entier autour de l'axe de l'aimant. La poussée des ions sur l'air n'est, pas plus que dans un éolipyle ou un radiomètre, la cause du mouvement.

L'assimilation d'une *dévi*ation des ions à une force électromotrice ne paraît pas justifiée. Dans un fil métallique, l'électricité, quelle que soit sa nature, se comporte comme un fluide incompressible : des actions inductrices locales exercées sur des segments très distants se totalisent immédiatement ; rien de semblable ne se produit dans une masse d'air ionisée en mouvement : les déviations imprimées aux ions par des champs agissant localement ne s'intègrent pas. Quant à l'air lui-même, son déplacement dans un champ magnétique ne fait apparaître aucun vecteur de Maxwell (Blondlot) qui puisse compenser un champ électrique dû à une cause quelconque. Enfin, dans un gaz raréfié, des ions lancés et soumis à un champ décriront des hélices, et ce phénomène ne saurait être comparé à une force électromotrice.

Dans le cas d'un circuit métallique coupé, entraîné avec de l'air ionisé autour d'un aimant, il y aura, dans la coupure, un champ électrique que rien n'annulera. D'autre part, la déviation magnétique tendra à pousser les ions positifs vers le pôle positif de la coupure, et les ions négatifs vers le pôle négatif : le champ électrique de la coupure tendra à faire l'inverse et, comme le mouvement d'un ion est individuel et dépend non d'une différence de potentiel, mais du champ, c'est-à-dire de la dérivée d'un potentiel au point qu'il occupe, les déplacements des divers ions dépendront de leur vitesse, de la force magnétique et de la dérivée en question, cette dernière étant en général prédominante aux deux bouts de la coupure. Il n'est pas bien certain que, le champ électrique existant forcément, cet état de choses empêche le passage d'une décharge. Si l'air est raréfié, les champs électrique et magnétique étant supposés uniformes, les ions en mouvement décriront des hélices déformées tracées sur des cylindres obliques aux lignes de force (Fortin) et avanceront cette fois dans le sens où le champ électrique les sollicite, ce qui est l'inverse de la pseudo-force électromotrice en cause. Tout cela revient, au fond, à la différence entre le fluide incompressible et les ions libres.

Dans le cas de la Terre, la vitesse des ions est nulle vers les pôles ; il en est de même de leur déviation, et le champ électrique produit par la différence de potentiel entre le pôle et l'équateur agit seul. Vers l'équateur, à la base de l'atmosphère où l'entraînement par l'air gêne la libre description des trajectoires, l'effet magnétique est maximum comme la vitesse et domine l'action du champ électrique : les ions négatifs sont entraînés lentement (20^{cm} au plus par jour) vers l'équateur négatif, et cela ne peut empêcher la transmission, supposée par l'auteur, de l'électricité du sol aux couches atmosphériques supérieures.

Quant à l'émission, évidemment hypothétique, de rayons cathodiques par une masse d'ions négatifs (ou peut-être par des poussières météoriques chargées par ces ions), elle est rendue vraisemblable par l'exemple des cathodes perforées. La déviation ultérieure de ces rayons n'est pas un phénomène d'induction et ne saurait réagir sur leur émission que seul le vecteur de Maxwell, inexistant dans un gaz, pourrait supprimer.

Appareils pour la mesure de la radioactivité, d'après la méthode électroscopique; par MM. CHÉNEVEAU et LABORDE. — L'un de nous a déjà fait construire par la Société centrale de Produits chimiques, d'après les indications de Curie, un modèle commode d'électroscope. Nous avons appliqué cette nouvelle forme de l'appareil à la réalisation d'instruments de mesure dont les avantages pratiques puissent permettre à n'importe quel physicien ou chimiste d'obtenir aisément la valeur de la radioactivité d'un corps solide, liquide ou gazeux.

L'électroscope, muni de son microscope à micromètre oculaire et de quelques légers perfectionnements, peut s'adapter, soit sur un appareil dans lequel seront placés les *corps solides* dont on veut mesurer la radioactivité, soit sur un cylindre hermétiquement clos dans lequel seront introduits les *gaz radioactifs*, soit sur tout autre appareil, pourvu que celui-ci ait un col auquel s'adapte l'électroscope. *Le même électroscope* peut ainsi servir à des *expériences multiples*.

La feuille d'aluminium est isolée par de l'ambroïde; pour que la cage de l'électroscope reste complètement close, nous avons été conduits à faire communiquer la feuille avec l'extérieur par l'intermédiaire d'une tige qui traverse l'ambroïde. Ce dispositif entraîne nécessairement deux surfaces de fuite le long de l'isolant. Nous l'avons pourtant adopté, afin que l'électroscope reste complètement à l'abri des poussières radioactives et que, seuls, les appareils accessoires puissent se salir; ceux-ci sont d'ailleurs démontables et leur nettoyage se fait sans difficulté.

Pour la mesure de la radioactivité des *corps solides*, il suffit de comparer les vitesses de chute de la feuille relatives à de l'oxyde noir d'uranium et au produit mesuré, distribués sur des surfaces égales dans l'appareil à solides.

Pour *l'émanation du radium*, les mesures peuvent donner, en valeur absolue, les quantités d'émanation. Nous avons pris comme unité de quantité d'émanation le *milligramme-minute*, c'est-à-dire la quantité d'émanation que peut fournir 1^{me} de bromure de radium pur en 1 minute (Curie et Laborde).

Comme la vitesse de chute de la feuille d'aluminium, produite par une quantité donnée d'émanation, ne serait pas la même pour des feuilles d'aluminium de sensibilités différentes, nous avons déterminé expérimentalement que 0,34 mg : m introduits dans le cylindre provoquent, 3 heures après leur introduction, une vitesse de chute V de la feuille égale à celle que produit le disque d'uranium dans l'appareil à solides. Si l'on introduit une quantité x d'émanation dans le cylindre et si la feuille d'aluminium tombe avec une vitesse v, la quantité x sera donnée par la relation $x = 0,34 \frac{v}{V}$.

La position du microscope est repérée pour que les vitesses de chute soient toujours mesurées dans les mêmes conditions.

Les constantes principales de l'appareil sont les suivantes :

Potentiel de charge de la feuille d'aluminium, environ... 300 volts
1 division du micromètre vaut..... 0,4 volt
Capacité de l'électroscope monté sur un cylindre de 3^l... 14^{cm} à 15^{cm}

Vitesse de chute spontanée ordinaire : 0,0033 $\frac{\text{div}}{\text{sec}}$, soit... 0,0013 volt

Vitesse de chute minimum mesurable (10 fois plus grande

que la précédente) : 0,03 $\frac{\text{div}}{\text{sec}}$, soit..... 0,01 volt

Courant minimum mesurable dans le cylindre (ce courant est 60 fois plus fort que le courant que produirait l'air atmosphérique).....

2.10⁻¹³ ampère

Quantité minimum d'émanation du radium mesurable dans le cylindre : 0,0019 $\frac{\text{mg}}{\text{min}}$.

Quantité minimum de bromure de radium dosable par l'émanation : 2,3.10⁻⁷ mg.

Activité minimum mesurable pour les solides (l'oxyde d'uranium étant pris pour unité) : $\frac{1}{200}$.

Ainsi l'appareil se prête facilement aux mesures de radioactivité de mi-

nerais, et, étalonné, permet l'étude de la radioactivité des eaux minérales et le dosage du radium par son émanation.

Nous rappellerons, à ce sujet, les expériences faites aux sources thermales mêmes par MM. Brochet à Plombières, Moureu à Luchon, Massol et Besson à Uriage, Laborde à Bussang, ou à Paris par M. Laborde [eaux d'Irza (Corse) et de la Bourboule].

SÉANCE DU 4 DÉCEMBRE 1908.

PRÉSIDENCE DE M. DESLANDRES.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 novembre est lu et adopté.

Les personnes qui ont été présentées dans la dernière séance sont élues Membres de la Société.

Les personnes dont les noms suivent sont présentées pour être Membres de la Société. Il sera statué sur leur admission dans la séance du 18 décembre prochain.

MM. ANDREFF, Institut de Physique de l'Université de Bâle (Suisse),
BORDAS (Frédéric), Professeur suppléant au Collège de France,
GAL, à Paris.
DUCRETET (Fernand), Constructeur d'instruments de précision pour les sciences et l'industrie, à Paris.
ROGER (Ernest), Constructeur d'instruments de précision pour les sciences et l'industrie, à Paris.
NORMANN (Harry-Jones), Student Woolwich Polytechnic, à Woolwich (Angleterre).

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL signale, parmi les pièces imprimées de la correspondance, l'Ouvrage de M. Georges CLAUDE : *Air liquide, oxygène, azote*.

M. N. OUMOFF, Professeur de Physique à l'Université de Moscou, adresse à la Société l'expression de ses sentiments de condoléance à l'occasion de la mort de MM. E. Mascart et Henri Becquerel.

M. le PRÉSIDENT annonce en ces termes à la Société les pertes douloureuses qu'elle a faites pendant les vacances :

« Messieurs, je déclare la séance ouverte et, avant de vous orienter vers les sujets habituels de nos réunions, je dois remplir un devoir à l'égard de ceux de nos confrères qui sont morts pendant les vacances dernières et qui malheureusement sont nombreux.

» Tout d'abord nous déplorons la perte de deux membres honoraires, de deux membres parmi les dix qui constituent l'élite de notre Société, et qui sont MM. Becquerel et Mascart, décédés à quelques heures d'intervalle.

» Henri Becquerel portait un nom déjà célèbre; il l'a illustré encore et grandement puisqu'il est, avec les Curie, l'initiateur, le fondateur de

cette branche nouvelle de la Physique, la radioactivité, qui, à l'heure actuelle, est peut-être la plus curieuse et celle qui nous promet le plus de faits nouveaux.

» Henri Becquerel est mort relativement jeune, en pleine activité, en pleine possession de son talent, alors que sa santé, en apparence solide, semblait lui assurer encore de longues années. Sa mort nous est d'autant plus sensible; notre seule consolation est de penser qu'il est prolongé par un fils, qui a déjà œuvre importante dans notre domaine, dans le domaine où ses ancêtres ont tracé un si large sillon.

» Quelques heures après le service funèbre de Becquerel, le même jour, avait lieu l'enterrement de M. Mascart, le doyen de la Section de Physique à l'Académie des Sciences. Les travaux de M. Mascart sur l'optique, le spectre solaire et les unités électriques sont classiques, et ses Ouvrages sont entre les mains de tous. Or, il a été non seulement un savant remarquable, mais un organisateur exceptionnel, qui a su créer ou diriger avec maîtrise plusieurs établissements scientifiques et même industriels. Son influence sur le développement scientifique de son époque a été considérable, et sa notoriété à l'étranger a été telle, qu'il a été nommé par acclamation et plusieurs fois président dans les Congrès internationaux. Il laisse, lui aussi, des enfants qui marchent sur ses traces.

» Les autres membres décédés sont :

» MM. William CASSIE, Professor of Physics, Brantwood, Englefield Green Surrey (Angleterre); Henri SAINTE-CLAIRE DEVILLE, ancien Directeur des Manufactures de l'Etat; ALLUARD, Professeur honoraire de la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand; CAVIALE, Directeur de l'Ecole Jules-Ferry, à Versailles; DE MONTEFIORE, Sénateur, Fondateur de l'Institut électrotechnique de Bruxelles; Alessandro VOLTA, Professeur au R. Liceo Manzoni, Milan (Italie); CANET (Gustave-Adolphe), Directeur de l'Artillerie de MM. Schneider et C^{ie}; NACHET (Alfred), Constructeur d'instruments d'optique.

» J'adresse un hommage ému à tous ces hommes éminents, qui ont travaillé au développement et au bon renom de notre Société.

» En terminant je suis heureux de vous annoncer une bonne nouvelle, l'attribution du prix Nobel de la Physique, tout entier, à notre collègue M. Lippmann. Les magnifiques découvertes de M. Lippmann sur les phénomènes électro-capillaires, sur la photographie des couleurs, sont connues de tous. Esprit original et profond, il a marqué sa trace dans toutes les questions qu'il a voulu aborder, et en particulier dans le domaine astronomique qu'il a étudié en passant, comme membre du Bureau des Longitudes. Il avait déjà parmi nous une situation exceptionnelle reconnue par tous, à laquelle le choix de l'Académie de Suède apporte une nouvelle consécration. Je lui adresse nos très vives félicitations, d'autant que le grand honneur qui lui est fait rejaillit sur la Science française et sur notre Société. Grâce à lui, grâce à Becquerel et aux Curie, notre pays a eu deux prix sur les six que la fondation Nobel a déjà distribués aux physiciens. Notre Société peut en ressentir un légitime orgueil. »

Appareil pour la mesure optique des courbures. — Mesure du grossissement de la lunette de Galilée; par M. CHASSAGNY. — 1. L'appareil se compose d'un viseur ordinaire, dont le réticule se trouve dans le plan conjugué par rapport à l'objectif, d'un objet situé à une quinzaine de centimètres devant l'objectif. En outre, un quadrillage est placé dans le plan focal de l'objectif et peut être éclairé par une source latérale, suivant le procédé habituel employé en autocollimation.

Pour mesurer le rayon de courbure d'une surface sphérique optique, on dirige ce viseur vers cette surface et l'on vise, en se servant du réticule

comme repère, soit la surface réfléchissante elle-même, soit l'image du quadrillage obtenue par réflexion sur la face étudiée et qui se trouve alors dans le plan focal du miroir sphérique qu'elle constitue.

La distance des deux positions successives du viseur donne la moitié du rayon de courbure de la face étudiée.

2. Pour déterminer le grossissement de la lunette de Galilée, il suffit, comme on sait, de mesurer le rapport du diamètre de l'objectif à celui du disque oculaire.

Le diamètre de l'objectif s'obtient aisément. Pour avoir le diamètre du disque oculaire, ici virtuel, on utilise une chambre claire : une glace transparente, placée à 45° sur l'axe de la lunette, en dehors d'elle, du côté de l'oculaire, permet d'obtenir une image virtuelle du disque oculaire, égale à celui-ci et qui se trouve alors à l'extérieur de la lunette ; à l'aide d'un double décimètre qu'on amène dans le plan de cette image virtuelle, il est facile de mesurer le diamètre du disque oculaire. Le grossissement de la lunette se déduit des deux déterminations précédentes.

La température du Soleil et la constante solaire ; par M. G. MILLOCHAU. — M. Millochau rend compte des travaux qu'il a exécutés, en collaboration avec M. Féry, en 1907, sur la température du Soleil et sur la détermination de la constante solaire.

Après avoir rappelé les résultats trouvés en 1906, c'est-à-dire 5663° pour la température effective du centre de l'image solaire et 6132° pour celle du noyau photosphérique, l'auteur expose que les recherches ont été reprises, en 1907, à l'observatoire Janssen du sommet du mont Blanc.

MM. Féry et Millochau se proposaient :

1° De reprendre les mesures de 1906 ;

2° De comparer les mesures faites avec le télescope pyrhéliométrique à celles d'un actinomètre nouveau imaginé par M. Féry.

Cet actinomètre est composé d'un cylindre de fer formant une des soudures d'un couple thermo-électrique constantan-fer ; ce cylindre, qui contient une résistance en fil fin, peut être chauffé par un courant électrique soigneusement mesuré, ou être exposé au rayonnement solaire.

On étalonne l'instrument en mesurant le nombre de watts qu'il faut faire passer dans la bobine pour faire produire au couple une déviation déterminée d'un millivoltmètre, lorsqu'il y a équilibre de température.

Ce nombre représentera donc l'énergie reçue par le système, lorsque, étant exposé au soleil, il produira cette même déviation au cours d'une mesure statique.

Pendant un séjour de 12 jours au sommet, M. Millochau put profiter de 6 belles journées, dont une particulièrement belle, le 22 août 1907.

Avec le télescope pyrhéliométrique, les résultats suivants ont été obtenus : 5555° pour la température effective du centre de l'image solaire ; 6042° pour celle de la photosphère ⁽¹⁾.

Les mesures avec l'actinomètre montrent que l'inertie de l'instrument produit un retard apparent de 23^m sur les indications trouvées. Avec cet appareil il a été trouvé, le 22 août, à midi $4^m, 0,36$ millivolt correspondant à 0,151 watt ou $2^\circ, 16$. Si l'on corrige de l'action atmosphérique terrestre on trouve pour la constante solaire $A_{10} = 0,166$ watt ou $2^\circ, 38$.

On peut également de cette mesure déduire approximativement la température effective moyenne du Soleil. Il suffit de pointer l'actinomètre sur un four de température connue et de tenir compte des diamètres apparents

⁽¹⁾ Les températures sont exprimées en degrés de l'échelle thermométrique absolue.

du Soleil, d'une part, et de l'ouverture du four, d'autre part ; on trouve ainsi :

Four à 1663°.	température du Soleil,	5696°
» 1623°	»	5695°
» 1280°	»	5667°

Malgré la concordance apparente des nombres, cette mesure est très grossière par comparaison avec celle faite par le télescope.

M. le PRÉSIDENT s'étonne des critiques dirigées par M. Millochau contre le pyrhéliomètre d'Angström, qui a été reconnu comme le meilleur instrument par plusieurs Congrès internationaux et a été adopté comme étalon. Il prie M. Millochau de préciser les défauts reprochés à cet instrument.

D'autre part, il le félicite d'avoir fait ses observations au mont Blanc, qui offre le grand avantage de l'altitude.

Ensuite il s'élève contre la tendance de plusieurs publications récentes, à tout ramener à la température du Soleil ou à la température effective et aux nombres qui sont censés les représenter, attendu que ces nombres reposent sur plusieurs hypothèses et sur trois extrapolations, dont une particulièrement incertaine. On donne ainsi au public des idées fausses sur notre connaissance réelle de la température vraie du Soleil. On représente aussi les éclats différents du centre et du bord par leurs températures effectives qui sont différentes, alors que les températures réelles sont égales.

M. GUILLAUME reconnaît la valeur des critiques adressées au mot *température effective* et propose à la place le mot *température équivalente*.

M. le PRÉSIDENT préfère aussi le mot de *température équivalente* ; mais, d'une manière générale, il estime qu'il est plus sage de conserver les habitudes anciennes et d'exprimer les éléments du rayonnement solaire par les données les plus directes de l'observation, qui sont : la quantité totale de chaleur reçue, les éclats ou leurs rapports et, finalement, la constante solaire, la température étant mise en relief, seulement lorsque cela est nécessaire.

Récepteur monophonique de grande sensibilité et à note réglable ; par M. Henri ABRAHAM. — Depuis les premières expériences de Laborde (1860) et les essais ultérieurs de De Coucy (1865), de Lacour (1875) et de Elisha Gray (1875), ce sont les travaux de M. Mercadier qui ont surtout contribué à rendre pratique le système de télégraphie multiplex fondé sur l'emploi de récepteurs monophoniques, c'est-à-dire d'appareils qui entrent en résonance mécanique franche lorsqu'ils reçoivent des courants ondulatoires accordés sur la période de leurs oscillations propres.

Les propriétés sélectives des récepteurs monophoniques sont aussi appelées à rendre de grands services en télégraphie sans fil (Blondel, 1898), pourvu qu'ils puissent être facilement réglables et extrêmement sensibles.

Le récepteur monophonique de M. Abraham a été réalisé sur ses indications par MM. Ducretet et Royer, *en utilisant un téléphone ordinaire d'un modèle quelconque*, auquel on a fait subir des modifications peu importantes.

La membrane de tôle ayant été retirée, l'armature vibrante est formée par une lamelle de fer qui couvre juste l'électro-aimant. Cette armature est portée par deux fils d'acier tendus parallèlement qui la maintiennent à la distance voulue des pôles. Ce système de suspension, analogue à celui du fréquencesmètre Pierre Weiss, a une excellente élasticité, en sorte que la

vibration propre de l'appareil donne un son musical. On fait varier à volonté la hauteur de ce son, au moyen d'une vis de réglage aisément accessible qui agit de l'extérieur sur la tension des fils d'acier.

L'amplitude du réglage est aussi grande qu'on le veut (elle peut être de plusieurs octaves), *et la sensibilité de ce récepteur monophonique a été trouvée nettement plus grande que celle des récepteurs ordinaires non modifiés.*

L'auteur termine en signalant que ses premières publications ont engagé M. Blondel à faire connaître des essais qu'il avait faits autrefois sur des récepteurs monophoniques. L'appareil de M. Blondel, que M. Abraham présente à la Société, comporte comme organe sensible une lame vibrante actionnée par un électro-aimant. On peut faire varier la note propre de l'appareil au moyen d'une forte pince qu'on déplace le long de la lame vibrante. L'appareil est très robuste et d'un réglage facile, sans avoir la grande sensibilité des récepteurs de M. Abraham.

SEANCE DU 18 DÉCEMBRE 1908.

PRÉSIDENCE DE M. DESLANDRES.

Les personnes qui ont été présentées dans la dernière séance sont élues Membres de la Société.

Les personnes dont les noms suivent sont présentées pour être Membres de la Société. Il sera statué sur leur admission dans la séance du 18 décembre prochain.

MM. BOUTARIC, Professeur au Lycée de Pau.

PELLIN (Félix-Philibert), Ingénieur-Constructeur, à Paris.

LACROIX (Robert), élève à l'Ecole Centrale, à Conlie (Sarthe).

ROUBAULT, Professeur au Collège de Sedan.

Sur la proposition du Conseil, MM. AMAGAT et VIOLLE sont nommés à l'unanimité Membres honoraires de la Société.

Sont élus Membres de la Commission chargée de vérifier les comptes de l'année : MM. FAIVRE-DUPAIGRE, GAY et VIEILLE.

M. le PRÉSIDENT annonce que le Rapport de la Commission des comptes sera envoyé à tous les Membres de la Société et qu'on votera sur son adoption à la séance du 15 janvier 1909.

M. le PRÉSIDENT annonce que M^{me} Gustave Canet, en souvenir de notre regretté confrère, adresse à la Société un don de 700^{fr}, qui élève ainsi la *donation Gustave Canet* à 1000^{fr}.

Le Bureau est chargé d'adresser ses remerciements à M^{me} Gustave Canet.

Le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL signale, parmi les pièces imprimées de la correspondance, le bel Atlas de MM. H. Buisson et Fabry, renfermant 7 planches du spectre du fer.

Sur la théorie des trames utilisées en photogravure; par MM. H. CALMELS et L.-P. CLERC. — On sait que, par l'emploi de la trame, on se propose de transformer une image à modelés continus en une image discontinue, exclusivement formée d'éléments noirs, de dimensions variables, distribués sur fond blanc, de telle sorte que, vus à quelque distance, la confusion des éléments noirs avec leurs intervalles fournisse en chaque région de l'image ainsi transformée la sensation d'un gris proportionnel à la tonalité du modèle dans la région correspondante.

M. Ch. Féry a, depuis déjà longtemps, montré ⁽¹⁾ que cette transformation était exclusivement due, dans les conditions habituelles de la pratique industrielle, aux pénombres raccordant de façon continue les cônes de pleine lumière projetés derrière les mailles transparentes de la trame et les zones d'ombre projetées derrière les bandes opaques, et avait indiqué une formule de réglage permettant, une fois obtenu un résultat satisfaisant dans des conditions déterminées, de varier numériquement les diverses données (dimensions du diaphragme, tirage de la chambre noire, dimensions d'une maille et distance du plan du quadrillage au plan de la plaque sensible) tout en obtenant des résultats conformes à ceux obtenus lors de l'essai préliminaire.

Cette théorie ne suffisait pas à rendre compte des variations de forme des éléments de l'image négative tramée, et notamment du passage de la disposition en cercles noirs sur fond blanc (demi-teintes foncées) ou en cercles blancs sur fond noir (demi-teintes claires) à la disposition en damier des demi-teintes moyennes.

MM. H. Calmels et L.-P. Clerc ont été ainsi amenés à développer les considérations exposées jadis par M. Ch. Féry et à déterminer, dans le plan de la plaque sensible, les lieux des points d'égal éclairement, qu'ils appellent *courbes isophotes*, tout au moins dans un cas particulier simple, correspondant d'ailleurs de très près aux conditions habituelles de la pratique.

La connaissance de ces courbes isophotes permet de prévoir quelle est, en chaque région de l'image tramée, la forme des éléments de cette image en éléments ayant précisément pour contours les isophotes successives lorsque l'on considère successivement les diverses régions d'une échelle de teintes dégradées du noir au blanc, reproduite sous forme de négatif tramé. L'accord est complet entre les formes observées sur négatifs tramés exécutés industriellement et les formes prévues par le calcul.

Pour figurer plus complètement le phénomène, MM. Calmels et Clerc ont matérialisé, sous forme d'un moulage en plâtre, la surface représentative des éclairéments dans le plan de la plaque sensible exposée derrière la trame dans le cas de réglage considéré; cette surface est constituée par des fragments de paraboloïdes de révolution présentant alternativement vers le haut leur concavité et leur convexité, raccordés entre eux par des paraboloïdes hyperboliques; la section de cette surface par un plan passant à égale distance des sommets des deux familles de paraboloïdes de révolution reproduit la disposition en damier observée dans les demi-teintes moyennes d'un négatif tramé.

Ionisation par le phosphore et phosphorescence; par LÉON et EUGÈNE BLOCH. — 1. L'un des auteurs a montré précédemment ⁽²⁾ qu'un courant d'air sec assez lent qui a passé sur le phosphore est le siège d'une ionisation et que les ions produits sont des ions de très faible mobilité (gros ions).

Dans les expériences dont il va être question, le courant d'air a été pro-

⁽¹⁾ *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1^{er} avril 1895.

⁽²⁾ E. BLOCH, *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. IV, 1905, p. 25.

gressivement augmenté jusqu'à des débits assez élevés. Dans ces conditions, la phosphorescence subit une modification des plus curieuses : d'abord limitée au phosphore, elle s'allonge dans le sens du courant gazeux et, pour un débit suffisant, *elle finit par se séparer du phosphore*, laissant entre elle et lui un intervalle parfaitement obscur. On n'observe plus alors dans le tube qu'une colonne phosphorescente isolée qui se déplace, sans grande diminution d'éclat, en suivant les variations du débit, et qui peut se trouver à plusieurs mètres du phosphore.

2. Les auteurs ont cherché si, parallèlement à ce déplacement de la phosphorescence, on pouvait saisir un déplacement : 1° de la région où se produit l'*ionisation* ; 2° de la région où se produit l'*ozone*. Un condensateur cylindrique relié à un électromètre est intercalé dans le tube. Dans tous les cas, ce condensateur recueille des charges importantes des deux signes s'il est placé dans la phosphorescence ou au delà. S'il se trouve avant la phosphorescence, l'électromètre reste au zéro. De même, un papier ozonoscopique bleuit rapidement s'il est placé dans la phosphorescence ou au delà. Il reste rigoureusement blanc s'il est placé dans la zone obscure qui précède la phosphorescence.

Les auteurs concluent de là que :

1° Phosphorescence, ionisation et ozone se produisent dans la même région ;

2° Cette région peut être séparée du phosphore quand le courant gazeux est suffisamment rapide.

3. Ces faits indiquent que la phosphorescence, l'ionisation et l'ozone ne se produisent pas par l'oxydation directe du phosphore solide, mais par l'oxydation d'une substance émanée du phosphore et entraînée par le courant gazeux. On peut songer soit à la vapeur de phosphore, soit à l'anhydride phosphoreux.

Les expériences de Jungfleisch, de R. Schenk, F. Mihr et H. Bauthien sont en faveur de la seconde hypothèse.

Les auteurs exposent les résultats de plusieurs expériences nouvelles qui semblent également s'interpréter le mieux, en admettant que *la phosphorescence, l'ionisation et l'ozone ne proviennent pas de l'oxydation du phosphore, mais de celle de l'anhydride phosphoreux*.

4. L'ionisation par le phosphore ne serait donc qu'un cas particulier de l'ionisation par une combustion quelconque. De fait, les auteurs ont pu vérifier que l'un des caractères les plus remarquables de l'ionisation par les flammes, signalé précédemment par l'un d'eux ⁽¹⁾, se retrouve dans le cas du phosphore : *la mobilité des ions produits décroît progressivement quand on s'éloigne de la phosphorescence*. Moyennant quelques précautions on peut, en se plaçant assez près du phosphore, obtenir des mobilités qui atteignent non seulement 0^{mm} , 1 comme l'avait indiqué Harms, mais qui s'élèvent jusqu'à 2^{mm} ou 3^{mm} . On est donc conduit à admettre que la combustion de l'anhydride phosphoreux produit des ions assez mobiles, mais rapidement alourdis ultérieurement par la présence de particules liquides ou solides.

1° *Les anneaux de Nobili. Photographies colorées. Phénomènes de Hall dans les électrolytes*; par M. G. DELVALEZ. — *Mécanisme de formation des anneaux*. — Toute électrode parasite, plongée dans un électrolyte, dérive une partie du flux électrique qui traverse le liquide. On

(1) E. BLOCH, *Comptes rendus*, t. CXL, 1905, p. 1327.

le voit nettement en déterminant la forme des surfaces équipotentiellles, lorsque la lame parasite, par exemple verticale et normale aux électrodes, est immergée dans une cuve rectangulaire. C'est ce que M. Delvalez a constaté dans les deux cas suivants : 1° lame de cuivre immergée au milieu d'une cuve contenant une solution de sulfate de cuivre (100^g par litre). Le flux dérivé à la seconde est donné par $I(0,084l - 0,0017l^2)$. — 2° lame d'argent dans le même bain. Les équipotentiellles sont normales à la lame vers le milieu de celle-ci. D'ailleurs, avec un courant extérieur de 0,036 ampère, la lame ne se cuivre que sur 21^{mm}, alors qu'elle a 8^{cm} de longueur.

Si l'on place ensuite dans la même cuve le mélange de Nobili et des lames parasites de laiton, celles-ci se couvrent de figures analogues à celles de Nobili, dont l'aspect varie avec I , l , la concentration.

Ces dépôts sont dus à une électrolyse du mélange, la densité du courant qui les produit variant d'un point à l'autre.

Cette électrolyse, étudiée à part, a les caractères suivants :

A l'anode, lames minces de minium d'abord, puis minium en masse et altération du laiton qui se réduit à Zn^2Cu , à la cathode cuivre d'abord, puis, pour des densités plus fortes, mélanges de cuivre et de plomb, de plus en plus riches en plomb. L'un de ces dépôts devient bleu indigo à l'air, un autre noir; d'autres ne se colorent pas, mais n'ont pas la couleur du cuivre.

Fait à noter, les dépôts riches en plomb sont toujours précédés de la série des dépôts moins riches, par suite de cuivre au début.

Explication de la marche des anneaux. — A l'anode, il se forme une lame mince dont la couleur change avec I et l ; à la cathode, dépôt de cuivre partout au début, puis les alliages colorés apparaissent dans la région de plus grande densité d'abord pour disparaître ensuite; ils apparaissent plus tard à côté et sont plus loin le dépôt définitif.

Loi de forme de M. Guébbard. — En se plaçant dans le cas d'une pointe qui débite sur une grande lame (pointe de plomb sur argent), M. Delvalez a pu constater que cette loi n'est pas rigoureuse, mais qu'elle s'écarte cependant peu de la vérité.

2° *Photographies colorées.* — Si deux régions d'une lame de laiton immergée dans le mélange de Nobili sont différemment éclairées, il y aura un courant entre elles, d'où formation de lames minces colorées d'une façon variable avec le temps et la différence d'éclairements. Si l'on met un négatif au-dessus de la lame et le tout au soleil, on a, en effet, une silhouette colorée.

Les blancs donnent : après 5 minutes, jaune brun; 10 minutes, lie de vin; 15 minutes, bleu indigo; 20 minutes, vert. Les noirs donnent du bleu violacé qui pâlit ensuite.

On peut photographier un négatif : temps de pose, 25 à 35 minutes pour obtenir une photographie où les blancs donnent du vert. Un spectre projeté sur la lame donne une impression uniforme bleue après 1 heure et demie. L'expérience apprend qu'une concentration faible (2^g par litre) de chacun des acétates donne des images unicolores bleues ou vertes; une concentration convenable pour image multicolore est 5^g,5 d'acétate de plomb et 1^g,1 d'acétate de cuivre. Une concentration plus forte peut être aussi employée.

3° *Phénomène de Hall.* — Un champ magnétique modifie un flux électrique qui lui est normal; par suite, on peut espérer, si ce phénomène est intense, comme le dit Bagard (1896), que les figures de Nobili changeront d'aspect si on les produit dans un champ. Elles changent en effet considérablement; mais leur production est accompagnée alors de courants

liquides ($H = 4050$ gauss). Or, l'expérience apprend que l'électrolyse de mélanges en mouvement donne des dépôts différents de ceux obtenus le liquide étant au repos. Si, pour isoler l'effet Hall, on immobilise le liquide par de la gélatine, il reste un effet dû à ce que le colloïde s'accumule autour du bloc; d'ailleurs, si l'on emploie, quand on peut le faire, du papier à filtre pour l'immobiliser, il n'y a plus de déformations. Celles-ci sont donc uniquement dues au mouvement de l'électrolyte.

Si l'on étudie alors les expériences de Bagard, on trouve qu'elles présentent une cause d'erreur systématique due à la production de courants liquides ou d'entraînement de la surface au cours des expériences.

Si l'on évite cela on n'observe plus rien ($H = 4050$ gauss). On peut enfin, pour éviter ces courants liquides, employer un courant alternatif de haut voltage ⁽¹⁾, champ 12000 gauss. Si l'on évite des causes d'erreurs nombreuses, on ne perçoit aucun effet. Mais on peut déduire de l'expérience que le coefficient de rotation de Hall est sûrement inférieur à 5×10^{-9} , alors que Bagard lui assigne une valeur de l'ordre de 10^{-6} .

La théorie des ions, d'après M. Donnau, permet d'expliquer le phénomène et elle donne au coefficient K une valeur en relation simple avec les différences des mobilités des ions. Elle indique que K est de l'ordre de 10^{-6} pour les vapeurs, 10^{-13} pour les solutions. On est donc encore bien loin de pouvoir constater nettement le phénomène.

⁽¹⁾ Expériences faites au laboratoire de l'Institut de Physique de Lille en septembre 1905.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1908.

PÉRIODIQUES.

American Journal of Science.

American Journal of Mathematics.

Annalen der Physik.

Annales de Chimie et de Physique.

Annales de la Faculté des Sciences de Marseille.

Annales scientifiques de l'Université de Jassy.

Annales de la Société scientifique de Bruxelles.

Annuaire pour l'an 1908, avec des Notices scientifiques. — Publié par le Bureau des Longitudes.

Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève.

Archives d'Électricité médicale, expérimentale et clinique.

Atti della Reale Accademia dei Lincei.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie.

Bibliographie mensuelle des Sciences et de l'Industrie.

Bulletin de la Société astronomique de France.

Bulletin de la Société belge d'Électriciens.

Bulletin de la Société française de Minéralogie.

Bulletin de la Société internationale des électriciens.

Bulletin de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale.

Bulletin de la Société philomathique de Paris.

Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles.

Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore.

Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse.

Bulletin de l'Institut international de Bibliographie.

Bulletin de l'Observatoire météorologique et sismologique de Zika-Wei.

Bulletin international de l'Académie des Sciences de Cracovie.

Bulletin of the Bureau of Standards.

Bulletin de l'Union des Physiciens.

Comptes rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences.

Department of the Interior, United States, geological Survey.

Die physikalischen Institute der Universität Gottingen.

Éclairage électrique (L').

Electrician (The).

Electricien (L').

Halbmonatliches Literaturverzeichnis der Fortschritte der Physik.

Journal de Physique, théorique et appliquée. — Fondé par J.-Ch. d'Almeida
et publié par MM. E. Bouty, G. Lippmann et L. Poincaré.

Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires. — Publié
par M. A. Bugnet.

Journal of the Franklin Institute.

Journal de la Société physico-chimique russe de Saint-Petersbourg.

Journal of Physical Chemistry.

**Journal of the Institution of Electrical Engineers including original Com-
munications on Telegraphy and Electrical Science.**

Journal de la Société Impériale technique russe.

**Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. Proceedings of
the section of Science.**

**Memoirs and Proceedings of the Manchester literary and philosophical
Society.**

**Mémoires et Comptes rendus des Travaux de la Société des Ingénieurs
civils.**

Mémorial des Poudres et Salpêtres.

Memorias y revista de la Sociedad científica « Antonio Alsate ».

Mitteilungen der physikalischen Gesellschaft, Zürich.

Mois scientifique et industriel (Le).

Moniteur industriel.

Nature (de Londres).

Nuovo Cimento (II).

Philosophical Magazine and Journal of Science.

Photographie (La) des couleurs.

Physical Review.

Popular Astronomy.

Proceedings (The) and Transactions of the Nova Scotian Institute of Science, Halifax.

Proceedings of the Royal Society of Edinburgh.

Proceedings of the Cambridge philosophical Society.

Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers.

Proceedings of the American Philosophical Society Philadelphia.

Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences, Boston.

Proceedings of the physical Society of London.

Proceedings of the Royal Society of London.

Radium (Le).

Revue électrique.

Revue générale des Sciences pures et appliquées.

Revue industrielle (La).

Revue des Questions scientifiques.

Revue scientifique.

Revue d'Électrochimie et d'Électrométallurgie.

Science abstracts, Physics and electrical Engineering.

Technology quarterly and Proceedings of the Society of Arts, Boston.

The scientific Proceedings of the Royal Dublin Society.

The economic Proceedings of the Royal Dublin Society.

The scientific Transactions of the Royal Dublin Society.

The John Crerar Library twelfth annual.

The national physical Laboratory.

Tôkiô Sugaku.

Transactions of the Academy of Science of St-Louis.

Transactions of the Cambridge philosophical Society.

Transactions of the Royal Society of Edinburgh.

Twenty seventh Annual Report of the Director of the United States geological Survey to the Secretary of Interior, 1905-1906 (Washington).

Bulletin de l'Observatoire national astronomique, chronométrique et météorologique de Besançon.

University of Toronto Studies.

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Bell (Alexandre-Graham). — The mechanism of speech. Lectures delivered before the American Association to promote the Teaching of speech to the Deaf, to which is appendiced a paper. London, Funk et Wagnalls, 1907; 1 vol. in-8°.

Boberil (Roger du). — Remarques historiques. Rennes, Francis Simon, 1908; 1 vol. in-8°.

Bordet (E.). — Les courants ondulés en électrothérapie. (Association française pour l'avancement des sciences.) Congrès de Clermont-Ferrand, 1908. Paris, Muller, 1908; 1 fasc. in-8°.

Bouty (Edmond). — La vérité scientifique, sa poursuite. Paris, Flammarion, 1908; 1 vol. in-18.

Brogie (Maurice de). — Recherches sur les centres électrisés en faible mobilité dans les gaz. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars, 1908; 1 fasc. in-8°.

Brunhes (Bernard). — La dégradation de l'énergie. (Bibliothèque de Philosophie scientifique.) Paris, Flammarion, 1908; 1 vol. in-8°.

Buisson (H.) et Fabry (Ch.). — Spectre du fer (avec 7 planches). (Extr. des *Annales de la Faculté des Sciences de Marseille*.) T. XVIII, fasc. 3, 1908; in-4°.

Calzecchi (Temistocle). — Di un termometro dell' Accademia del Cimento. (Extr. *Rendiconti del. R. Ist. Lombardo di Sc. e Lett.*, 2^e série, vol. XLI, 1908.) 1 fasc. in-8°.

Carlheim-Gyllensköld (V.). — Sur l'origine des spectres de bandes. Upsal, Almqvist and Wiksells, 1907; 1 br. in-4°.

Chwolson (O.-D.). — Traité de Physique, t. I, 4^e fasc. (Acoustique.) Paris, A. Hermann, 1908; 1 vol. in-8°.

Cornu (A.). — Notices sur l'électricité, extraites de l'*Annuaire du Bureau*

des Longitudes : Électricité statique et dynamique. Production et transport de l'énergie électrique, avec une Préface de M. A. Potier. Paris, Gauthier-Villars, 1904: 1 vol. in-8°.

Gouturat (L.) et Lean (L.). — Compte rendu des travaux du Comité (15-24 octobre 1907). Délégation pour l'adoption d'une langue auxiliaire internationale. Coulommiers, Paul Brodard, 1907; 1 fasc. in-8°.

— Conclusions du Rapport sur l'état présent de la question de la langue internationale, présenté au Comité. Coulommiers, Paul Brodard, 1907; 1 fasc. in-8°.

Despau (A.). — Explication mécanique des propriétés de la matière : cohésion, affinité, gravitation. Paris, Félix Alcan, 1908; 1 vol. in-8°.

Duhem (Pierre). — Josiah-Willard Gibbs, à propos de la publication de ses Mémoires scientifiques. Paris, A. Hermann, 1908; 1 fasc. in-8°.

Escuela superior central de Artes industriales y de industrias. — Memoria del curso de 1907 a 1908, precedida del Discurso leído por el Director Ilmo Sr. D. Ramiro Suarez Bermudez en la solemne distribucion de premios a los alumnos que los obtuvieron en el curso citado. Madrid, Antonio Alvarez, 1908; 1 fasc. in-4°.

Foveau de Courmelles. — L'année électrique, électrothérapie et radiographie. (Revue annuelle des progrès électriques en 1907.) 8^e année. Paris, Ch. Béranger, 1908; 1 vol. in-8°.

Gaillard (Gaston). — Recherches sur le temps que la précipitation met à apparaître dans les solutions d'hyposulfite. Paris, Gauthier-Villars, 1905; 1 fasc. in-8°.

Gandillot (Maurice). — Origine de la gamme. Paris, Fortin et C^{ie}, 1908; 1 fasc. in-8°.

Gelder (J.-K. van). — Over de Toëpassing van de Centrifugaalkracht voor de Scheiding en Zuivering van Ertseen en Kolen. s'Gravenhage, de Swart und Soon, 1908; 1 br. in-8°.

Goldhammer (D.-A.). — Ein Jahrhundert der Physik. (Extr. *Himmel und Erde*, t. XV, 1902.) 1 fasc. in-4°.

— Ueber die Transformation eines pulsierenden Stromes in einen Wechselstrom. (Extr. *Phys. Zeitschrift*, n° 3, 1902.)

— Ueber die Strahlenfilter für das ultraviolette Licht. (Extr. *Phys. Zeitschrift*, n° 14, 1903.)

— Ueber die Temperatur der Sonne. (Extr. des *Ann. der Phys.*, Bd. 23, 1908.) 1 fasc. in-8°.

— Die Farbenempfindlichkeit der Auges und die photometrische Helligkeit der leuchtenden Körper. (Extr. des *Ann. der Phys.*, Bd. 16, 1905.) 1 fasc. in-8°.

- Ueber die Natur der flüssigen Luft. (Extr. *Boltzmann Festschrift*, 1904.) 1 fasc. in-8°.
- Ueber die Theorie des Flüssigkeitsunterbrechers. (Extr. des *Ann. der Phys.*, Bd. 9, 1902.) 1 fasc. in-8°.
- Goldhammer (D.-A.)** und **Ariston (J.-J.)**. — Eine einfache Form des Flüssigkeitsunterbrechers. (Extr. *Phys. Zeitschrift*, n° 38, 1901.) 1 fasc. in-4°.
- Gruner (P.)**. — Sur les transformations successives des vues scientifiques sur la nature de l'électricité. (Extr. *Archives des Sciences physiques et naturelles*, t. XXVI, 1908.) 1 fasc. in-8°.
- Ueber eine Erweiterung der Lorentz'schen Elektronentheorie der Metalle. (Extr. *Verhandlungen der deutschen physikalischen gesellschaft*, X Jahr., n° 13.) Braunschweig, Vieweg und Sohn, 1908; 1 fasc. in-8°.
- Ueber die Verwertung von Theorien und Hypothesen im physikalischen Unterricht. Leipzig, B.-G. Teubner, 1908; 1 fasc. in-8°.
- Dämmerungserscheinungen und Alpenglühen beobachtet in Bern im Jahre 1907. (Extr. des *Naturforschenden Gesellschaft in Bern*, 1907.) 1 fasc. in-8°.
- Die Wandlung in den Anschauungen über das Wesen der Electricität. Hamburg, Gustav Schlössmann's, 1908; 1 fasc. in-8°.
- Guillaume (Ch.-Ed.)**. — Les récents progrès du Système métrique. Rapport présenté à la quatrième Conférence générale des Poids et Mesures réunie à Paris en octobre 1907. (Extr. du Tome XV des *Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures*). Paris, Gauthier-Villars, 1907; 1 fasc. in-4°.
- Guye (C.-E.)**, **Schidlof (A.)** et **Kernbaum (M.)**. — Les rayons X ont-ils une action sur les corps radioactifs? (Extr. des *Arch. des Sc. phys. et naturelles*, janvier 1908.) 1 fasc. in-8°.
- Guye (C.-E.)** et **Wœlfle (H.)**. — Étude sur les variations du 2^e module d'élasticité de l'invar en fonction de la température. (Extr. des *Arch. des Sc. phys. et naturelles*, juillet-août 1907.) 1 fasc. in-8°.
- Guye (C.-E.)** et **Zebrikoff**. — Sur la différence de potentiel de l'arc à courant continu entre électrodes métalliques. (Extr. des *Archives des Sciences phys. et naturelles*, décembre 1907.) 1 fasc. in-8°.
- Guye (C.-E.)** und **Zebrikoff (L.)**. — Ueber die Potentialdifferenz des Gleichstromlichtbogens zwischen Metallelektroden. (Extr. de *Physikalische Zeitschrift*, n° 20, 8. Jahr.) 1 fasc. in-4°.
- Honda (K.)**, **Terada** and **Isitani (D.)**. — An the secondary undulations of oceanic Tides. (Extr. de *Phil. Mag.*, january 1908.) 1 fasc. in-8°.
- Jacobsen (J.-A.)**. — Calcul électrique et mécanique des distributions

- d'énergie. Conférence faite le 5 juillet 1908. (Association amicale des anciens Élèves de l'École pratique d'électricité industrielle.) 1 fasc. in-8°.
- Kien (Peter).** — Ueber das Flammenspektrum des Kupferchlorids. (Inaugural Dissertation.) Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1908; 1 fasc. in-8.
- Koomans (N.-W.-I.).** — Over den inlooe der Zelfinductie in telefoongeleidingen. Delft, J. Wattman, 1908; 1 br. in-8°.
- Lallemand (Ch.).** — Rapport général sur les nivellements de précision, exécutés dans les cinq parties du monde. — Rapport sur les travaux du nivellement général de la France de 1904 à 1906 inclus. — Rapport sur la mesure des mouvements du sol, dans les régions sismiques, au moyen de nivellements répétés à de longs intervalles. (Extr. des *Comptes rendus de la Conférence générale de l'Association géodésique internationale*, tenue à Budapest en septembre 1906.) Leyde, E.-J. Brill, 1907; 1 fasc. in-4°.
- Règle logarithmique à calculs avec échelles fractionnées du Service technique du cadastre. (Extr. des *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des Sciences*. Congrès de Lyon, 1906.) 1 fasc. in-8°.
- Cercle azimutal réitérateur à microscopes et à lectures directes. (Extr. des *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des Sciences*. Congrès de Lyon, 1906.) 1 fasc. in-8°.
- Les rampes critiques en automobile. (Extr. des *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des Sciences*. Congrès de Reims, 1907.) 1 fasc. in-8°.
- L'avenir des continents. (Extr. du *Bulletin de la Société astronomique de France*, mai 1908.) 1 fasc. in-8°.
- Le Chatelier (Henry).** — Leçons sur le carbone, la combustion, les lois chimiques, professées à la Faculté des Sciences de Paris. Paris, Dunod et Pinat, et A. Hermann, 1908; 1 vol. in-8°.
- Leduc (Stéphane).** — Conférence sur la diffusion et l'osmose. (Extr. des *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des Sciences*. Congrès de Reims, 1907.) 1 fasc. in-8°.
- Louguinine (W.) et Schukarew (A.).** — Méthodes de calorimétrie usitées au Laboratoire thermique de l'Université de Moscou. Paris, A. Hermann, 1908; 1 br. in-8°.
- Manville (O.).** — Les découvertes modernes en Physique. — Leur théorie et leur rôle dans l'hypothèse de la constitution électrique de la matière. Paris, A. Hermann, 1908; 1 vol. in-8°.
- Marage.** — Photographie des vibrations de la voix. (Extr. des *Comptes rendus*, 23 mars 1908.) 1 fasc. in-4°.
- Matisse (George).** — Les Principes de la conservation de l'assise et ses applications, suivi de deux Notes. Paris. A. Hermann, 1907; 1 vol. grand in-8°.

Meslin (Georges). — Sur le renversement complexe des raies spectrales dans les couches chromosphériques. (Extr. du *Bulletin astronomique*, janvier 1908.) 1 fasc. in-8°.

Natanson (Ladislas). — On the elliptic polarization of light transmitted through an absorbing gaseous medium, parallel to the lines of an extraneous magnetic field. (Extr. du *Bulletin de l'Académie des Sciences de Cracovie*, mars 1908.) 1 fasc. in-8°.

Nodon (Albert). — La photographie des couleurs. Méthodes directes et indirectes. (Extr. des *Comptes rendus du Congrès des Sociétés savantes* en 1907.) Paris, Imprimerie nationale, 1908; 1 fasc. in-8°.

— L'action électrique. (Extr. de la *Revue des questions scientifiques*.) Bruxelles, J. Polleunis, 1908; 1 fasc. in-8°.

N.... — Les vrais principes de la langue auxiliaire Ido. Étude pratique dédiée à tous, mais surtout aux Espérantistes. Paris, Chaix, 1908; 1 fasc. in-8°.

Pellat (H.). — Cours d'Électricité (Cours de la Faculté des Sciences de Paris). T. III : Électrolyse; Electrocapillarité; Ions et Électrons. Paris, Gauthier-Villars, 1908; 1 vol. in-8°.

— Sur la théorie de M. Nernst concernant la différence de potentiel entre électrode et électrolyte. (Extr. du *Journal de Physique théorique et appliquée*, mars 1908.) 1 fasc. in-8°.

— De la variation de la masse des électrons à l'intérieur de l'atome. (Extr. des *Comptes rendus*, 21 octobre 1907.) 1 fasc. in-4°.

Ribière (C.). — Phares et signaux maritimes. (Encyclopédie scientifique, publiée sous la direction du Dr Toulouse.) Paris, Doin, 1908; 1 vol. in-8°.

Richard (P.-I.) et Petit (Émile). — Théorie mathématique des assurances. Paris, Doin, 1908; 1 vol. in-8°.

Romilly (P. Worms de). — Sur les premiers principes des Sciences mathématiques. Paris, A. Hermann, 1908; 1 fasc. in-8°.

Roux (Gaston). — Formulaire de l'Électricien et du Mécanicien (E. Hospitalier), 22^e année, 1908. Paris, Masson et C^{ie}, 1908; 1 vol. in-8°.

Sarasin (Ed.), Guye (C.-E.) et Micheli (J.). — Sur la radioactivité des eaux de Lavey-les-Bains. (Extr. des *Arch. des Sc. phys. et naturelles*, janvier 1908.) 1 fasc. in-8°.

Sarasin (Ed.) et Tommasina (Th.). — Sur la véritable cause du dédoublement de la courbe de désactivation des conducteurs recouverts d'une couche diélectrique et radioactivés avec charge. (Extr. des *Comptes rendus*, 9 juin 1908.) 1 fasc. in-4°.

Schiller (N.). — Recherche d'un monocycle correspondant au système donné thermodynamique (en russe). Kieff, 1908; 1 fasc. in-8°.

Smoluchowski (Marie). — Contribution à la théorie du mouvement des liquides visqueux; en particulier des problèmes en deux dimensions. (Extr. du *Bull. de l'Acad. des Sc. de Cracovie*, janvier 1907.) 1 fasc. in-8°.

— Théorie cinétique de l'opalescence des gaz à l'état critique et de certains phénomènes corrélatifs. (Extr. du *Bull. de l'Acad. des Sc. de Cracovie*, décembre 1907.) 1 fasc. in-8°.

Solar physics Committee. — Monthly mean values of barometric pressure for 73 selected stations over the earth's surface. London, Printed for his Majesty's stationery Office by Wyman et Sons. Limited, Fatter Lane E. C., 1908; 1 fasc. in-4°.

Spring (W.). — Sur la densité et l'état allotropique de certaines variétés de soufre. — Remarques sur la détermination de la densité des corps en poudre fine. (Extr. du *Bull. de l'Acad. royale de Belgique*, 1907.) 1 fasc. in-8°.

— Sur les modifications subies par quelques phosphates acides à la suite d'une compression ou d'une déformation mécanique. (Extr. du *Bull. de l'Acad. royale de Belgique*, 1907.) 1 fasc. in-8°.

— Sur un hydrate de soude. (Extr. du *Bull. de l'Acad. royale de Belgique*, 1907.) 1 fasc. in-8°.

Stanoievitch (G.-M.). — Les forces centrales dans la nature. Belgrade, Imprimerie d'État du Royaume de Serbie, 1906; 1 fasc. in-4°.

Teplotff (N.). — Les principes de la théorie nodale des combinaisons chimiques. Saint-Petersbourg, E. Arnhold, 1908; 1 fasc. in-8°.

— Mémoires en brouillon sur la théorie nodale des combinaisons chimiques (3^e partie). Saint-Petersbourg, E. Arnhold, 1908; 1 fasc. in-8°.

— De la calculation des structures nodales. 1 fasc. in-8°.

Thompson (Silvanus-P.). — The Kelvin lecture. The Life and Work of Lord Kelvin. 1 fasc. in-8°.

Tommasina (Thomas). — Sur l'action exclusive des forces Maxwell-Bartoli dans la gravitation universelle. (Extr. de la *Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève*, 20 février 1908.) 1 fasc. in-8°.

Tsakalatos (D.-E.) et Mettler (Eric). — Tables numériques et logarithmes à l'usage des chimistes. Paris, Gauthier-Villars, 1907; in-8°.

Turpain (Albert). — Précis de Physique à l'usage des candidats au certificat d'études physiques, chimiques et naturelles. Paris, Vuibert et Nony, 1908; 1 vol. in-8°.

— Recueil de manipulations élémentaires de Physique, à l'usage des candidats au certificat d'études physiques, chimiques et naturelles. Paris, Vuibert et Nony, 1908; 1 vol. in-4°.

— La télégraphie sans fil (2^e édition). Paris, Gauthier-Villars, 1908; 1 vol. in-8°.

Vaulabelle (A. de) et Hemardinquer (Ch.). — La Science au théâtre, étude sur les progrès scientifiques en usage dans le théâtre moderne. Paris, Henry Paulin, 1908; 1 vol. in-8°.

Étude du retour par la terre des courants industriels. Expériences exécutées entre Lancey et Grenoble en 1906-1907 (offert par MM. Louis BARBILLION et Émile HARLÉ). Grenoble, Allier frères, 1908; 1 fasc. in-4°.



TABLE DES MATIÈRES.

	Pagen.
Pierre WEISS et V. PLANER. — Hystérèse dans les champs tournants.....	5
Ch.-V. DRYSDALE. — Sur le rendement lumineux et l'équivalent mécanique de la lumière.....	27
E.-H. AMAGAT. — Sur l'extension du théorème de Clausius.....	33
Otto REICHENHEIM. — Rayons anodiques.....	40
Auguste RIGHI. — Sur quelques phénomènes dus aux rencontres entre électrons, ions, atomes et molécules.....	47
G. SAGNAC. — Remarques sur une communication récente de M. A. Righi.	75
P. VILLARD. — Sur la lumière positive et le passage de l'électricité dans les gaz.....	77
P. VILLARD. — Les rayons cathodiques et l'aurore boréale.....	114
Ch. FÉRY. — Sur quelques modes électriques d'entretien du pendule. — Pendule sans lien matériel.....	138
Ch. FÉRY. — Photomètre à lecture directe. — Rendement optique de quelques luminaires.....	148
A. BLANC. — Recherches sur les mobilités des ions dans les gaz.....	156
E. ESTANAVE. — Le relief stéréoscopique en projection par les réseaux lignés..	170
G. LIPPMANN. — Épreuves réversibles donnant la sensation du relief.....	173
C. CHÉNEVEAU. — Recherches sur les propriétés optiques des solutions et des corps dissous.....	177
Gaston GAILLARD. — Observations sur le temps employé par les corps pour se dissoudre.....	203
P. VILLARD. — Phénomènes pseudo-photographiques.....	211
A. DUFOUR. — Modifications normales et anormales, sous l'influence d'un champ magnétique, de certaines bandes des spectres d'émission de molécules de divers corps à l'état gazeux.....	225
F. SALMON. — Électromètre absolu à torsion.....	254
C. CHÉNEVEAU et A. LABORDE. — Appareils pour la mesure de la radioactivité, d'après la méthode électroscopique.....	262
Henri ABRAHAM. — Rhéographe double pour projections.....	275

PROCÈS-VERBAUX ET RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS.

SÉANCE DU 17 JANVIER 1908.....	5*
Allocution de M. LE CHATELIER, président sortant.....	6*

	Pages.
Pierre WEISS et V. PLANER. — Hystérèse dans les champs tournants.....	9*
Rapport de la Commission des comptes sur l'exercice 1906-1907.....	10*
SÉANCE DU 7 FÉVRIER 1908.....	12*
Henri ABRAHAM. — Emploi du galvanomètre à cadre mobile comme instrument universel dans les mesures sur les courants alternatifs.....	13*
HEMSALECH et DE WATTEVILLE. — Sur les spectres de flamme.....	14*
SÉANCE DU 21 FÉVRIER 1908.....	15*
Henri ABRAHAM. — Influence de la température sur les constantes d'un détecteur électrolytique.....	15*
E. DUCRETET. — Transmetteurs et récepteurs pour la télégraphie sans fil. — Dispositif d'accord. — Éclateur en vase clos à circulation de gaz. — Condensateurs à lames et à bouteilles, types T. S. F.....	16*
SÉANCE DU 6 MARS 1908.....	16*
C.-V. DRYSDALE. — Sur le rendement optique et l'équivalent mécanique de la lumière.....	17*
C. TISSOT. — Signal d'appel pour détecteur électrolytique.....	18*
ARMENGAUD jeune. — Le problème de l'aviation et sa solution par l'aéroplane.....	19*
SÉANCE DU 20 MARS 1908.....	20*
H. AMAGAT. — Sur l'extension du théorème de Clausius.....	21*
G. LIPPMANN. — Épreuves réversibles. — Photographies intégrales.....	21*
A. BROCA. — Remarques au sujet de la communication de M. <i>Lippmann</i>	21*
DE CHARDONNET. — Remarques au sujet de la communication de M. <i>Lippmann</i>	22*
Maurice LEBLANC. — De la condensation dans les machines à vapeur.....	23*
COLSON. — Transformation du phosphore dissous.....	24*
SÉANCE DU 3 AVRIL 1908.....	25*
Louis DUNOYER. — Sur un compas électromagnétique pour blockhaus cuirassés et sous-marins.....	25*
Édouard BELIN. — Téléstéréographe.....	27*
J. BLONDIN. — Sur quelques appareils pour la transmission à distance des dessins et photographies.....	28*
SÉANCE ANNUELLE. — Réunions des mercredi 22, jeudi 23 et vendredi 24 avril 1908.....	29*
SÉANCE DU 1 ^{er} MAI 1908.....	37*
Louis DUNOYER. — Complément à sa communication sur un compas électromagnétique.....	38*
Ch. FÉRY. — Pendule électrique sans lien matériel.....	39*
LAURIOL. — Remarques au sujet de la communication de M. <i>Ch. Féry</i>	39*
Ch. FÉRY. — Photomètre à lecture directe.....	40*
MOULIN. — L'ionisation des gaz par les rayons α et la recombinaison initiale.....	41*

	Pages.
G. MALFITANO. — Les propriétés physiques des colloïdes hydroxychloroferriques. — Essai d'une définition de l'état micellaire.....	41*
VICTOR HENRI. — Remarques au sujet de la communication de M. G. Malfitano.	42*
DESPAUX. — Électricité de contact.....	43*
SÉANCE DU 15 MAI 1908.....	43*
Eugène BLOCH. — Sur l'ionisation de l'air par la lumière ultra-violette....	44*
MOULIN. — Remarques au sujet de la communication de M. Eugène Bloch.	44*
VICTOR HENRI. — Étude cinématographique des mouvements browniens ...	45*
DE BROGLIE. — Remarques au sujet de la communication de M. Victor Henri.	47*
J. DUCLAUX. — Remarques au sujet de la communication de M. Victor Henri.	48*
G. SAGNAC. — Sur l'ionisation de l'air produite par une pointe électrisée...	48*
SÉANCE DU 5 JUIN 1908.....	48*
Jean BECQUEREL et KAMERLINGH ONNES. — Sur l'absorption de la lumière et les phénomènes magnéto-optiques dans les sels de terre rares aux températures de liquéfaction et de solidification de l'hydrogène.....	48*
A. DUFOUR. — Action du champ magnétique sur les bandes de spectres d'émission de quelques corps composés à l'état gazeux (phénomène de Zeeman normal et anormal).....	51*
Jean BECQUEREL. — Remarques au sujet de la communication de M. A. Dufour.....	52*
COTTON. — Remarques sur les expériences de MM. J. Becquerel et A. Dufour.	54*
Jean BECQUEREL. — Remarques aux observations de M. Cotton.....	55*
SÉANCE DU 19 JUIN 1908.....	56*
G. URBAIN. — Sur le lutécium et le néoytterbium, constituants de l'ancien ytterbium.....	56*
Rosa et DORSEY. — Les nouvelles déterminations du rapport ν des unités électriques et l'accord avec les mesures de la vitesse de la lumière	57*
ESTANAVE. — Projection stéréoscopique; écran stéréoscope.....	57*
GUILLOZ. — Remarques au sujet de la communication de M. E. Estanave..	59*
SÉANCE DU 3 JUILLET 1908.....	59*
C. CHÉNEVEAU. — Recherches sur les propriétés optiques des solutions et des corps dissous.....	60*
VICTOR HENRI. — Influence du milieu sur les mouvements browniens.....	61*
E. SALMON. — Électromètre absolu à torsion.....	63*
LANGEVIN. — Recherches sur les mobilités des ions dans les gaz	64*
Gaston GAILLARD. — Observations sur le temps employé par les corps pour se dissoudre.....	65*
SÉANCE DU 20 NOVEMBRE 1908.....	66*
P. VILLARD. — Sur l'induction unipolaire et la cause probable des aurores polaires.....	66*
M. MOULIN. — Remarques au sujet de la communication de M. P. Villard.	67*
P. VILLARD. — Réponse aux observations de M. M. Moulin.....	67*

	Pages.
M. CHÉNEVEAU et LABORDE. — Appareils pour la mesure de la radioactivité, d'après la méthode électroscopique.....	68*
SÉANCE DU 4 DÉCEMBRE 1908.....	70*
CHASSAGNY. — Appareil pour la mesure optique des courbures. — Mesure du grossissement de la lunette de Galilée.....	71*
MILLOCHAU. — La température du Soleil et la constante solaire.....	72*
DESLANDRES. — Remarques au sujet de la communication de M. Millochau.	73*
Ch.-Ed. GUILLAUME. — Remarques au sujet de la communication de M. Millochau.....	73*
Henri ABRAHAM. — Récepteur monophonique de grande sensibilité et à note réglable.....	73*
SÉANCE DU 18 DÉCEMBRE 1908.....	74*
H. CALMELS et L.-P. CLERC. — Sur la théorie des trames utilisées en photo-gravure.....	75*
Léon et Eugène BLOCH. — Ionisation par le phosphore et phosphorescence.	75*
G. DELVAREZ. — Les anneaux de Nobili. — Photographies colorées. — Phénomènes de Hall dans les électrolytes.....	76*
Liste des Ouvrages reçus pendant l'année 1908.....	79*
Table des Matières.....	89*

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.



LISTE DES MEMBRES.



ANNÉE 1909.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, PARIS (6^e).

(1909.)

BUREAU.

MM. BRILLOUIN, *Président.*

BERTIN, *Vice-Président.*

ABRAHAM (H.), *Secrétaire général.*

BLOCH (E.), *Secrétaire.*

JOLY (L.), *Vice-Secrétaire.*

PELLIN (Ph.), *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidents :

MM. GOURÉE DE VILLEMONTÉE. 1907.

LAFAY (A.).

LEBLANC (M.).

LUGOL (P.).

DEBIERNE (A.).

FERRIÉ.

MOUTON (H.).

SACERDOTE (P.).

CLAUDE (G.).

DEVAUX-CHARBONNEL.

DUFOUR (A.).

DE GRAMONT.

1908.

1909.

Membres non résidents :

MM. COUETTE (Angers). 1907

LARMOR (Cambridge).

MARCHIS (Bordeaux).

RUBENS (Berlin).

HEMSALECH (Manchester) 1908.

LUMIÈRE (Louis) (Lyon).

MOREAU (Rennes).

ZEEMAN (Amsterdam).

BATTELLI (Pisa). 1909.

CHWOLSON (Saint-Petersbourg).

GUINCHANT (Caen).

VAUTIER (Lyon).

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873.	MM. FIZEAU.
1874.	BERTIN.
1875.	JAMIN.
1876.	QUET.
1877.	BECQUEREL (Ed.).
1878.	BLAVIER.
1879.	BERTHELOT.
1880.	MASCART.
1881.	CORNU.
1882.	GERNEZ.
1883.	JANSSEN.
1884.	POTIER.
1885.	MAREY.
1886.	SEBERT.
1887.	WOLF.
1888.	ROMILLY (DE).
1889.	MASCART.
1890.	MALLARD.
1891.	FRIEDEL.
1892.	VIOLLE.
1893.	LIPPMANN.
1894.	JOUBERT.
1895.	CAILLETET.
1896.	BOUTY.
1897.	BECQUEREL (H.).
1898.	BENOIT (R.)
1899.	BASSOT.
1900.	CORNU.
1901.	PELLAT.
1902.	POINCARÉ (H.).
1903.	GARIEL (C. M.).
1904.	ARSONVAL (D').
1905.	DUFET (H.).
1906.	AMAGAT (E.-H.).
1907.	LE CHATELIER (H.)
1908.	DESLANDRES.

MM. ALMEIDA (v'), *Secrétaire général, Fondateur* (1873-1880).
JOUBERT, *Secrétaire général honoraire* (1880-1890).
PELLAT, *Secrétaire général honoraire* (1891-1898).
POINCARÉ (L.), *Secrétaire général honoraire* (1899-1900).
NIAUDET, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1875-1882).
MAURAT, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1883-1890).
GAY, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1891-1898).

MEMBRES HONORAIRES (¹).

MM. AMAGAT (E.-H.), Membre de l'Institut.

BELL (Alex. Graham), de Washington (États-Unis).

LIPPMANN (Gabriel), Membre de l'Institut.

RAYLEIGH (Lord), F. R. S., Professeur à l'Institution royale de Londres (Angleterre).

THOMSON (J. J.), Cavendish Professor of experimental Physics, Cambridge, and Professor of natural Philosophy at the Royal Institution, London (Angleterre).

VAN DER WAALS (G.-D.), Professeur à l'Université d'Amsterdam (Hollande).

VIOLLE, Membre de l'Institut.

POINCARÉ (Henri), Membre de l'Institut.

DONATEURS (²).

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI (Baron d'EICHTHAL)	fr. 2000
COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI	1000 ^{fr}
M. GUÉBARD , Agrégé des Facultés de Médecine (pour l'amélioration de la Bibliothèque)	10000

(¹) Membres honoraires décédés :

MM. A. BECQUEREL.	1874-78.	MM. FIZEAU.	1873-96.
V. REGNAULT.	1876-78.	BERTRAND.	1890-1900.
SECCHI.	1876-78.	ROWLAND.	1893-1901.
BILLET.	1876-82.	CORNU.	1895-1902.
PLATEAU.	1880-83.	STOKES.	1878-1902.
JAMIN.	1882-86.	POTIER.	1902-1905.
EDLUND.	1884-88.	BERTHELOT.	1887-1907.
BROCH.	1878-89.	KELVIN (Lord).	1876-1907.
JOULE.	1878-89.	JANSEN.	1889-1907.
HIRN.	1890-90.	BECQUEREL (H.).	1908-1908.
ED. BECQUEREL.	1882-91.	MASCART (E.).	1895-1908.

EXTRAIT DES STATUTS : Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'Étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(²) Les noms des personnes qui auront donné à la Société une somme supérieure ou égale à 500 francs resteront inscrits, avec le chiffre de la donation, immédiatement après les Membres honoraires, et avant les Membres à vie, sous le titre de DONATEURS. Les Membres à vie pourront acquérir ce titre en ajoutant une somme de 300 francs à leur souscription perpétuelle. (Décision du Conseil du 1^{er} décembre 1891.)

ANONYME (pour aider à la publication du Volume des <i>Constantes</i>).....	5000
MM. JENNESSON , Principal de Collège (Legs).....	500
ANONYME (Solde des comptes de la Société chez MM. Gauthier-Villars et fils).....	5547,30
BISCHOFFSHEIM , Membre de l'Institut.....	1500
SAUTTER et LEMONNIER , Une machine dynamo.	
JEUNET , ancien Professeur au Lycée d'Angoulême.....	500
ROTHSCHILD (Baron Edmond de).....	300
CANET (Gustave).....	1000
MARTIN (Ch.), de Chartres (Legs).....	1000
ANONYME (pour la publication du tome I des <i>Données numériques</i>).....	11000
ANONYME (pour la publication du tome II des <i>Données numériques</i>).....	9600
GAUTHIER-VILLARS (pour la publication du tome I des <i>Données numériques</i>).....	830,25
GAUTHIER-VILLARS (pour la publication du tome II des <i>Données numériques</i>).....	734,25
COPPET (de) (pour la publication des <i>Données numériques</i>). ANONYME (pour aider à la publication du tome III des <i>Données numériques</i>).....	1000
ANONYME (pour aider à la publication des Mémoires). ANONYME (pour missions scientifiques).....	6000
NOGUÉ (Émile).....	5000
ROMILLY (Félix Worms de).....	2000
GUÉBHARD (6 dons annuels de 300 ^{fr}).....	300
ANONYME	150000
DROITS D'AUTEUR de la traduction allemande du <i>Recueil d'expériences</i> , de M. Abraham.....	1800
ZILOFF (pour aider à la publication des Œuvres de Curie).	300
	367,80
	100

MEMBRES A VIE (¹).

MM. * **D'ABBADIE**, Membre de l'Institut.

ABRAHAM (**Henri**), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm, Paris, 5^e.

* **ABRIA**, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

* **D'ALMEIDA**, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.

(¹) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État, et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (STATUTS, art. 3, dernier paragraphe.)

* Membres décédés.

MM. * ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique.

AMAGAT (E.-H.), Membre de l'Institut, Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 19, avenue d'Orléans, Paris, 14°.

AMAR (Jules), Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 62, boulevard Saint-Germain, Paris, 5°.

ANCEL (Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, 13, rue Brochant, Paris, 17°.

ANGOT, Directeur du Bureau central météorologique, Professeur à l'Institut National Agronomique, 176, rue de l'Université, Paris, 7°.

ARNOUX (René), Ingénieur civil, 45, rue du Ranelagh, Paris, 16°.

ARSONVAL (D^r D'), Membre de l'Institut, professeur au Collège de France, 12, rue Claude-Bernard, Paris, 5°.

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 13, rue Bernoulli, Paris, 8°.

BABINSKI, Ingénieur civil des Mines, 170 bis, boulevard Haussmann, Paris, 8°.

BADONNEL (Marie-Gabriel-Victor), Professeur au Lycée, 2, square Castan, à Besançon (Doubs).

BAILLAUD (Jules), Astronome adjoint à l'Observatoire, 148, boulevard du Montparnasse, Paris, 14°.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf, Paris, 10°.

* **BANDSEPT (Albert)**, Ingénieur.

BARDY (Charles), Directeur honoraire du service scientifique des Contributions indirectes, 30, rue de Miromesnil, Paris, 8°.

* **BARON**, ancien Directeur à l'Administration des Postes et des Télégraphes.

BASSÉE (Jules-Charles), Constructeur d'instruments de Physique, 4, avenue de la Dame-Blanche, à Fontenay-sous-Bois (Seine).

BAUME-PLUVINEL (comte DE LA), 7, rue de la Baume, Paris, 7°.

BECKER, Préparateur de Physique au Collège Rollin, avenue Trudaine, Paris, 9°.

BÉCLÈRE (D^r Antoine), membre de l'Académie de Médecine, Médecin de l'Hôpital Saint-Antoine, 122, rue La Boétie, Paris, 8°.

* **BECQUEREL (Henri)**, Membre de l'Institut.

BECQUEREL (Jean), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur au Muséum, 15, boulevard Saint-Germain, Paris, 5°.

BENOIT (René), Correspondant de l'Institut, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, à Sèvres (S.-et-O.).

BERGER (D^r Émile), Membre correspondant des Académies royales de Médecine de Belgique et de Madrid, 3, rue Anatole-de-la-Forge, Paris, 7°.

BERTIN, Membre de l'Institut, Directeur du Génie maritime du cadre de réserve, 8, rue Garancière, Paris, 6°.

* **BIENAYMÉ**, Inspecteur général du Génie maritime en retraite.

* **BISCHOFFSHEIM (Raphaël-Louis)**, Membre de l'Institut.

BJERKNES (Wilhelm), Professeur à l'Université de Christiania (Norvège).

- MM. * BLAVIER**, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.
- BLOCH** (Eugène), Professeur au Lycée Saint-Louis, 11, rue Rataud, Paris, 5^e.
- BLOCH** (Salvador), Professeur au Lycée Saint-Louis, 328, rue Saint-Jacques, Paris, 5^e.
- BLONDEL**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 41, avenue de La Bourdonnais, Paris, 7^e.
- BLONDIN**, Professeur au Collège Rollin, 171, rue du Faubourg-Poissonnière, Paris, 9^e.
- BLONDLOT**, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- BOBERIL** (le Comte Roger du), 10, rue Michel-Ange, Paris, 16^e.
- BOITEL**, Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux (Seine).
- BOIZARD**, Professeur au Lycée de Toulouse (Haute-Garonne).
- BORDÉ** (Paul), Ingénieur opticien, 29, boulevard Haussmann, Paris, 9^e.
- BORDET** (Lucien), ancien élève de l'École Polytechnique, ancien Inspecteur des Finances, Administrateur de la C^{ie} des Forges de Châtillon et de Commentry, 181, boulevard Saint-Germain, Paris, 7^e.
- BORIS**, ancien Élève de l'École Polytechnique, 147, avenue Malakoff, Paris, 16^e.
- BOULANGER** (Julien), Colonel du Génie, en retraite, 2 bis, rue Gagneraux, à Dijon (Côte-d'Or).
- BOURGAREL** (Paul), Professeur au Lycée Carnot, 145, boulevard Malesherbes, Paris, 17^e.
- BOURGEOIS** (Léon), D^r ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri IV, Paris, 4^e.
- BOURLET** (Carlo), Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 56, rue Raynouard, Paris, 16^e.
- BOSLER**, Aide-Astronome à l'Observatoire de Meudon, Parc des Grimettes, à Meudon (S.-et-O.).
- BOUTY**, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 5, rue du Faubourg-Saint-Jacques, Paris, 14^e.
- BRANLY** (D^r E.), Professeur à l'École libre des Hautes Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville, Paris, 7^e.
- * **BRÉGUET** (Antoine), ancien Élève de l'École Polytechnique.
- BREWER**, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain, Paris, 5^e.
- BRILLOUIN**, Professeur au Collège de France, 31, boulevard de Port-Royal, Paris, 13^e.
- * **BAION**, Professeur au Lycée Saint-Louis.
- * **BRISSE** (Ch.), Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, Répétiteur à l'École Polytechnique.
- BROCA** (D^r André), Répétiteur à l'École Polytechnique, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau, Paris, 7^e.

- MM. BRUNHES (Bernard), Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, Directeur de l'Observatoire du Puy de Dôme.
- BRYLINSKI (Émile), Sous-Directeur du *Triphasé*, 5, avenue Teissonnière, à Asnières (Seine).
- * BUCHIN, Ingénieur électricien.
- BUISSON, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Marseille (Bouches-du-Rhône).
- * CABANELLAS, Ingénieur électricien.
- * CADOT, Professeur au Lycée Carnot.
- CAILHO, Ingénieur des Télégraphes, 111, rue Mozart, Paris, 16^e.
- * CANET (Gustave), Directeur de l'Artillerie de MM. Schneider et C^{ie}.
- CANIMEY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 63, rue Claude-Bernard, Paris, 6^e.
- CARPENTIER (Jules), Membre de l'Institut, Membre du Bureau des Longitudes, 34, rue du Luxembourg, Paris, 6^e.
- CARVALLO, Examinateur des élèves à l'École Polytechnique, 1, rue Clovis, Paris, 5^e.
- CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 30, rue Gay-Lussac, Paris, 5^e.
- * CAURO (Joseph), Docteur ès sciences, ancien Élève de l'École Polytechnique.
- CHABAUD (Victor), 28, avenue du Petit-Chambord, à Bourg-la-Reine (Seine).
- CHAIRY, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 60, rue du Ranelagh, Paris, 6^e.
- CHANCEL (Félix), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- CHARDONNET (Comte de), 22, rue de l'Arcade, Paris.
- * CHAUTARD, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille.
- CHAUVEAU, ancien Élève de l'École Normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau central, 51, rue de Lille, Paris, 7^e.
- CHAUVIN (Raphaël), Ingénieur électricien, 186, rue Championnet, Paris, 18^e.
- CHAVES (Antonio-Ribeiro), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).
- * CHERVET, Professeur au Lycée Saint-Louis.
- CLAVERIE, Censeur au Lycée Condorcet, 65, rue Caumartin, Paris, 9^e.
- CLÉMENT (Louis), 18, rue Louis-le-Grand, Paris, 2^e.
- COLARDEAU (Emmanuel), Professeur au Collège Rollin, 13, rue de Navarin, Paris, 9^e.
- COLIN (Th.), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 6, rue Victor-Considérant, Paris, 14^e.
- COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI, 54, boulevard Haussmann, Paris, 9^e.
- COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI, 84, rue de la Victoire, Paris, 9^e.

- MM. * CONTAL, Préparateur de Physique au Collège Rollin.
COPPET (DE), villa de Coppet, rue Magnan, à Nice (Alpes-Maritimes).
* CORNU (A.), Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique.
COTTON (A.), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 52, boulevard Saint-Jacques, Paris, 14^e.
COURTOIS (l'abbé F.), Missionnaire, Église Saint-Joseph, à Chang-Hai (Chine).
CRÉMIEU (Victor), D^r ès sciences, Préparateur à la Faculté des Sciences, aux Ombries, par Le Poujol (Hérault).
CULMANN (Paul), Docteur ès sciences, 28, rue Vauquelin, Paris, 5^e.
CURIE (M^{me} Skłodowska), Professeur de Physique générale à la Faculté des Sciences, 108, boulevard Kellermann, Paris, 13^e.
* CURIE (Pierre), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences.
DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas, 44, rue de Fleurus, Paris, 6^e.
DEFFORGES (Général G.), commandant la 78^e Brigade, villa Saint-Michel, à Toul (Meurthe-et-Moselle).
DEFOIX (D^r), 40, rue du Bac, Paris, 7^e.
DELEBECQUE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 36, boulevard des Tranchées, à Genève (Suisse).
DELVALEZ (G.), Professeur au Lycée Condorcet, 16, avenue Ledru-Rollin, Paris, 12^e.
DEVAUX-CHARBONNEL, Ingénieur des Télégraphes, 286, boulevard Raspail, Paris, 14^e.
DIOT, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet, Paris, 17^e.
* DOLLFUS (Eugène), Chimiste, Fabr. d'indiennes, à Mulhouse (Alsace).
DOMERGUE (E.), Résident à Haïphong (Tonkin).
DONGIER, D^r ès sciences, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 87 bis, Grande-Rue, à Bourg-la-Reine (Seine).
DOUMER (D^r), Professeur à la Faculté de Médecine de Lille (Nord).
DROUIN (Félix), Ingénieur, 1 bis, avenue de Longchamps, à Boulogne-sur-Seine (Seine).
DUBOIS (René), Professeur à l'École Turgot, 23, rue des Fossés-Saint-Jacques, Paris, 5^e.
* DUBOSQ (Jules), Constructeur d'instruments de Physique.
* DUCLAUX, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur.
DUCLAUX (Jacques), Docteur ès sciences, Préparateur à l'Institut Pasteur, 24, rue Dutot, Paris, 15^e.
DUCLOS, ancien Directeur d'École normale à Cérissols, par Fabut (Ariège).
DUDDELL (W.), Ingénieur, 47, Hans-Place, London S. W. (Angleterre).
* DUFET (H.), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis.
DUFOUR (A.), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 45, rue d'Ulm, Paris, 5^e.
DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 6^e.

- MM. DÜRAND**, Préparat' à la Faculté des Sciences, 50, rue Monge, Paris, 5^e.
DYBOWSKI, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg, Paris, 12^e.
ENGEL, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, à Châtillon-sous-Bagneux (Seine).
FAIVRE-DUPAIGRE, Inspecteur général de l'Instruction publique, 9, rue du Val-de-Grâce, Paris, 5^e.
FAVÉ, Ingénieur hydrographe en chef de la Marine, 1, rue de Lille, Paris, 7^e.
* **FERNET**, Inspecteur général honoraire de l'Instruction publique.
FONTAINE (Hippolyte), Ingénieur électricien, 58, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 6^e.
FORTIN (Charles), 59, rue Claude-Bernard, Paris, 5^e.
FOUSSEREAU, D^r ès sciences, 50, boulevard de Port-Royal, Paris, 5^e.
FOVEAU DE COURMELLES (D^r), 26, rue de Châteaudun, Paris, 9^e.
FREDT (Henri), Industriel, à Brignoud (Isère).
* **FRIEDEL**, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.
GALIMARD, Industriel, à Flavigny-sur-l'Ozerain (Côte-d'Or).
GALL (Henry), Directeur de la Société d'Électrochimie, 5, rue Albert-Joly, à Versailles (Seine-et-Oise).
GARIEL (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille, Paris, 17^e.
GASCARD (A.), Professeur à l'École de Médecine, Pharmacien des hôpitaux, 33, boulevard Saint-Hilaire, à Rouen (Seine-Inférieure).
GAUMONT (L.), Directeur du Comptoir général de Photographie, 57, rue Saint-Roch, Paris, 1^{er}.
* **GAUTHIER-VILLARS**, Libraire-Éditeur.
GAY (Jules), Examinateur honoraire à l'École Militaire de Saint-Cyr, 17, rue Beauveau, à Versailles (Seine-et-Oise).
GAYON, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 7, rue Dufour-Dubergier, à Bordeaux (Gironde).
GERNEZ (Désiré), Membre de l'Institut, Maître de Conférences honoraire de l'École Normale supérieure, 80, rue d'Assas, Paris, 6^e.
GIBERT (Eugène-Louis-Marie), Chef d'escadron d'Artillerie coloniale, 9 bis, rue Baudin, à Rochefort (Charente-Inférieure).
GIBERT, Professeur de Physique à l'École Colbert, 146, boulevard Magenta, Paris, 10^e.
GODARD (Léon), Docteur ès sciences, 28, rue Gay-Lussac, Paris, 5^e.
GODEFROY (l'abbé), ancien Professeur de Chimie à l'Institut catholique.
GODRON (H.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 52, quai du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).
GOISOT (G.), Ingénieur, 10, rue Béliard, Paris, 17^e.
GOLOUBITZKY, Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie)

MM. * GOTENDORF (Silvanus).

GOURE DE VILLEMONTÉE, Docteur ès sciences, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy, Paris, 5^e.

GRAMONT (Arnaud DE), Docteur ès sciences, 179, rue de l'Université, Paris, 7^e.

GRAY (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works Co limited, à Londres (Angleterre).

GROSSETESTE (William), Ingénieur, 5, rue Amiral-Courbet, Paris, 16^e.

GROUVELLE, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire, Paris, 6^e.

GUÉBARD (D' Ad.), Agrégé des Facultés de Médecine, à Saint-Vallier-de-Thiery (Alpes-Maritimes), et 4, rue de l'Abbé-de-l'Épée, Paris, 5^e.

GUILLET, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 158, rue Saint-Jacques, Paris, 5^e.

HADAMARD (Jacques), Professeur au Collège de France, 25, rue de Humboldt, Paris, 14^e.

HAMY (Maurice), Membre de l'Institut, Astronome titulaire à l'Observatoire, 3, rue Humboldt, Paris, 14^e.

HEMPTINNE (Alexandre DE), 56, rue de la Vallée, à Gand (Belgique).

HENRY (Alfred), Ingénieur de la Raffinerie A. Sommier et C^{ie}, 145, rue de Flandre, à Paris.

HONDA (Kotaro), Kreuzberweg, 151, Gottingen (Allemagne).

HUET (Ernest), Docteur en Médecine, 21, rue Jacob, Paris, 6^e.

* HUGO (comte Léopold).

HUSSON (Léon), Contrôleur du câble télégraphique, à Haïphong (Tonkin).

ICOLE (Léon), Professeur au Lycée de Douai (Nord).

INFREVILLE (Georges D'), Électricien de la *Western Union Telegraph*, Expert de la *National Bell Telephone Co*, 110, Liberty Street, New-York (États-Unis).

JACOBS (Fernand), Président de la Société Belge d'Astronomie, 21, rue des Chevaliers, à Bruxelles (Belgique).

* JAMIN, Membre de l'Institut.

JANET (Paul), Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité, 6, rue du Four, Paris, 6^e.

* JAVAL, Membre de l'Académie de Médecine.

JAVAL (Jean), Membre du Conseil général de l'Yonne, 45, rue de Boulaivilliers, Paris, 16^e.

JAVAU (Émile), Administrateur-Directeur de la Société *Gramme*, 20, rue d'Hautpoul, Paris, 19^e.

* JENNESSON, ancien Principal.

JÉNOT, Professeur honoraire au Collège Rollin, 17, rue Caulaincourt, Paris, 18^e.

* JEUNET, Professeur honoraire.

JOBIN (A.), ancien Élève de l'École Polytechnique, 31, rue Humboldt, Paris, 14^e.

- MM. * JOLY, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.
JOUBERT, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet, Paris, 15^e.
* KERANGUÉ (Yves de), Capitaine en retraite.
* KERCHOVE (VAN DEN), Sénateur, Gand (Belgique).
KLEIN, Préparateur au Laboratoire de Physique (Laboratoire d'Enseignement) de la Faculté des Sciences, 10, rue Antoine-Roucher, Paris, 16^e.
KNOLL, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand, Paris, 5^e.
KOECHLIN (Horace), Chimiste, 19, avenue du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).
KORDA (Désiré), Ingénieur, Administrateur de la Société française d'électricité A. E. G., 15, rue Ambroise-Thomas, Paris, 9^e.
KOROLKOFF (Alexis), Lieutenant-Colonel d'Artillerie russe, Professeur de Physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Petersbourg (Russie).
KROUCHKOLL, Docteur ès sciences et Docteur en Médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 150, avenue de Wagram, Paris, 17^e.
* LACOUR, Ingénieur civil des Mines.
LAFAY (A.), Capitaine, Professeur à l'École Polytechnique, 98, rue d'Arcueil, à Malakoff (Seine).
LALLEMAND (Charles), Ingénieur en chef des Mines, Directeur du nivellement général de la France, 66, boul. Émile-Augier, Paris, 16^e.
LAMPA (A.), Professeur à l'Université de Vienne (Autriche).
LAPRESTÉ, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet, Paris, 15^e.
LAURENT (Léon), ancien constructeur d'instruments d'Optique, 21, rue de l'Odéon, Paris, 5^e.
LAVIÉVILLE (Augustin), Inspecteur honoraire de l'Académie de Paris, 3, rue Legoff, Paris, 5^e.
LE BEL, ancien Président de la Société chimique, 250, rue Saint-Jacques, Paris, 5^e.
LEBLANC (Maurice), ancien Élève de l'École Polytechnique, à Croissy (Seine-et-Oise).
* LECHAT, Professeur honoraire du Lycée Louis-le-Grand.
LE CHATELIER (André), Ingénieur en chef de la Marine, 331, rue Paradis, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
LE CHATELIER (Henry), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 75, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 6^e.
LE CHATELIER (Louis), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, rue Bara, Paris, 5^e.
* LE CORDIER (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
LEDUC (A.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 3, rue de Médecis, Paris, 6^e.
LEFEVRE (Pierre), Professeur au Lycée, 67, boulevard Faidherbe, à Douai (Nord).

- MM. LEMOINE (E.), ancien Élève de l'École Polytechnique, Chef honoraire du Service de la vérification du Gaz, 4, boulevard de Vaugirard, Paris, 15^e.
- * LEMONNIER, ancien Élève de l'École Polytechnique.
 - * LEMSTRÖM (Selim), Professeur émérite de l'Université de Helsingfors (Finlande).
- LEQUEUX, Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac, Paris, 5^e.
- LEROY, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail, Paris, 14^e.
- * LESPIAULT, Prof^r à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).
 - * LÉTANG (Paul), Ingénieur électricien.
- LÉTANG (D^r Marc), à l'Essart, par Poitiers (Vienne).
- LEUILLIEUX (D^r), Médecin de la C^{ie} des Chemins de fer de l'Ouest, à Conlie (Sarthe).
- LEVESQUE (Lieutenant), Section de Géodésie du Service géographique de l'Armée, 140, rue de Grenelle, Paris, 7^e.
- LIMB, Docteur ès sciences, Ingénieur, Conseil de la Maison Gindre frères et C^{ie} de Lyon. 11, quai de l'Archevêché, à Lyon.
- LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences. 10, rue de l'Éperon, Paris, 5^e.
- LOUVET (Édouard), Élève libre à l'École des Mines, 49, rue de Vaugirard, Paris, 6^e.
- LUGOL (Paul), Prof^r au Lycée Saint-Louis, 6, rue Toullier, Paris, 5^e.
- LYON (Gustave), ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 bis, rue Rochechouart, Paris, 9^e.
- * MACÉ DE LÉPINAY, Professeur à la Faculté des Sciences de Marseille (Bouches-du-Rhône).
- MACH (D^r E.), Professeur de Physique à l'Université de Vienne (Autriche).
- MACQUET (Auguste), Ingénieur au corps des Mines, Professeur à l'École des Mines du Hainaut, à Mons (Belgique).
- MALASSEZ, Préparateur à la Faculté des Sciences, 166, boulevard Saint-Germain, Paris, 7^e.
- * MALLARD, Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines. Professeur de Minéralogie à l'École des Mines.
- MANEUVRIER, Directeur adjoint du Laboratoire des Recherches (Physique) à la Sorbonne, Paris, 5^e.
- MARIE, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne, 5, rue Basses-Carmes, Paris, 4^e.
- * MARTIN (Ch.), de Chartres.
 - * MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France.
- MASSIN, Ingénieur des Télégraphes, 61, rue de Vaugirard, Paris, 6^e.
- * MASSON (G.), Libraire-Éditeur.
- MASSOULIER, Professeur au Lycée Henri-IV, 11, villa Brune, Paris, 14^e.
- MAURAIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen (Calvados).
- * MAURAT, Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis.

MM. MENIER (Henry), 8, rue de Vigny, Paris, 8°.

MESLIN (G.), Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier (Hérault).

MESNAGER (Augustin), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur des canaux de la Ville de Paris, 182, rue de Rivoli, Paris, 1°.

MESTRE, Ingénieur à la C^{ie} des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette, Paris, 10°.

MÉTRAL (Pierre), Agrégé des Sciences Physiques, Directeur de l'École Colbert, 27, rue Château-Landon, Paris, 10°.

* **MEYER (Bernard)**, Ingénieur des Télégraphes.

MEYER (Stefan), Privat-docent à l'Université, Turkenstrasse, 3, à Vienne (Autriche).

MICHEL (Auguste), Ingénieur civil, 10, boulevard Victor-Hugo, à Saint-Germain-en-Laye (Seine-et-Oise).

* **MOLTENI (Alfred)**.

* **MONCEL (Comte du)**, Membre de l'Institut.

* **MONTEFIORE (Lévi)**, Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, Liège (Belgique).

MOHR (Louis Tranchard), Ph. Dr, Professeur de Physique à l'Université de Cincinnati, à Cincinnati, Ohio (États-Unis).

MORTIZ (Henri), Ingénieur civil, Docteur ès sciences, Professeur de Physique à l'École Polytechnique, rua Princeza Impérial, n° 20, Antiago, à Rio de Janeiro (Brésil).

MOSER (Dr James), Privat-docent à l'Université, VIII/1, Laudon-gasse, 25, à Vienne (Autriche).

MOULIN (Marcel), Sous-Chef des Travaux pratiques de Chimie à l'École de Physique et de Chimie, 303, rue du Faubourg-Saint-Antoine, Paris, 11°.

MUIRHEAD (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court, Temple E. C., Londres (Angleterre).

NAGAOKA (H.), Docteur ès sciences, Professeur de Physique à l'Université de Tokio (Japon).

NERVILLE (DE), Ingénieur des Télégraphes, 59, rue de Ponthieu, Paris, 8°.

NEVEU (Raoul), Constructeur d'instruments de Physique, 35, rue de la Montagne-Sainte-Geneviève, Paris, 5°.

NODON (Albert), Ingénieur-Conseil, 12, rue de Moulis, à Bordeaux (Gironde).

* **NOGUÉ (Émile)**, de la Maison Pellin-Duboscq.

* **NIAUDET**, Ingénieur civil.

OGIER (Jules), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 7, cité Vaneau, Paris, 7°.

OLLIVIER (A.), Ingénieur civil, 3, rue Littré, Paris, 6°.

OUNOFF (Nicolas), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

MM. PALMADE, 2, rue Baumes, à Montpellier (Hérault).

PALMADE (F.), Chef de bataillon du Génie, Chef du Génie à Bourges (Cher).

PATTE (Lucien), Professeur au Lycée, 32, avenue Alsace-Lorraine, à Grenoble (Isère).

PAULIDÈS (Démosthènes), Docteur en Médecine.

PELLAT (H.), Professeur à la Faculté des Sciences, 23, avenue de l'Observatoire, Paris, 6^e.

PÉRARD (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liège (Belgique).

* PÉROT, Dessinateur et Graveur.

PÉROT (Alfred), Professeur à l'École Polytechnique, Physicien à l'Observatoire d'Astronomie physique de Paris, Directeur honoraire du Laboratoire d'Essais, 16, avenue Bugeaud, Paris, 16^e.

PERREAU, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon (Doubs).

PERRIER (Capitaine), État-Major de l'Armée, Service géographique, 140, rue de Grenelle, Paris, 7^e.

PERRIN (Jean), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 106, boulevard Kellermann, Paris, 13^e.

PETIT (G.-E.), Ingénieur des Télégraphes, chargé des études relatives à la Télégraphie sans fil, 205, boulevard Raspail, Paris, 14^e.

PICOU (R.-V.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 47, rue Saint-Ferdinand, Paris, 17^e.

PILTSCHIKOFF (Nicolas), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

POINCARÉ (A.), Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, 10, rue de Babylone, Paris, 7^e.

POINCARÉ (Lucien), Inspecteur général de l'Instruction publique, 130, rue de Rennes, Paris, 6^e.

POLLARD (Jules), Directeur du Génie maritime, Directeur de l'Établissement d'Indret, par Basse-Indre (Loire-Inférieure).

POPP (Victor), ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des Horloges pneumatiques, 21, place de la Madeleine, Paris, 8^e.

PORTER (B.-Albert), Consultant and Importer, 1024 Lake Shore Drive, Evanston, Illinois (États-Unis).

* POTIER, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines.

POUSSIN (Alexandre), Ingénieur, 7, rue de l'Équitation, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

PRIEUR (Albert), Industriel, 76, boulevard Malesherbes, Paris, 6^e.

PUPIN, Docteur en Médecine, 27, quai de la Tournelle, Paris, 5^e.

PUYFONTAINE (Comte DE), 34, avenue Friedland, Paris, 8^e.

* RAFFARD (N.-J.), Ingénieur.

RAYEAU (C.), Physicien au Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers, 61, boulevard Sébastopol, Paris, 1^{er}.

RAYMOND, Ingénieur principal des Messageries maritimes, à la Ciotat (Bouches-du-Rhône).

- MM. * RAYNAUD, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.
RENAULT (Albert), Chimiste, 13, rue Paul-Louis-Courier, Paris, 7*.
RIBIÈRE (Charles), Ingénieur des Ponts et Chaussées (Service des phares), 13, rue de Siam, Paris, 16*.
* RIGOUT (A.), Docteur en Médecine.
* RILLIET, Professeur à l'Université de Genève (Suisse).
RIVIÈRE (Charles), Professeur au Lycée Saint-Louis, 30, rue Gay-Lussac, Paris, 5*.
* RODDE (Ferd.).
RODDE (Léon), rua do Ouvidor, 107, à Rio de Janeiro (Brésil).
RODOCANACHI (Emmanuel), 54, rue de Lisbonne, Paris, 8*.
* ROGER, Chef d'institution honoraire.
* ROMILLY (Félix Worms DE), ancien Président de la Société française de Physique.
ROMILLY (Paul Worms DE), Ingénieur en chef des Mines, 7, rue Balzac, Paris, 8*.
ROTHÉ, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 21, rue Malzéville, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
ROTHSCHILD (baron Edmond DE), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré, Paris, 8*.
ROZIER (F.), Docteur en Médecine, 12, rue de Buci, Paris, 6*.
SAGNAC (G.), Chargé des cours à la Faculté des Sciences, 4, rue Boissonnade, Paris, 14*.
SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Émile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 12, rue Alphonse-de-Neuville, Paris, 17*.
* SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), Membre de l'Institut.
* SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), ancien Directeur des Manufactures de l'État, Administrateur délégué de la Société anonyme des anciennes salines domaniales de l'Est.
SAINTIGNON (F. de), Maître de Forges à Longwy (Meurthe-et-Moselle).
* SALET, Maître de conférences à la Faculté des Sciences.
SARRAN (E.), Professeur au Lycée, 20, cours Pasteur, à Bordeaux (Gironde).
* SCHWEDOFF, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).
SEBERT (le Général), Membre de l'Institut, 14, rue Brémontier, Paris, 17*.
SELIGMANN-LUI, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 78, rue Mozart, Paris, 16*.
SENTIS, Professeur au Lycée, 17, boul. de Bonne, à Grenoble (Isère).
* SERPOLLET, Ingénieur.
SIEGLER (Jean), Ingénieur au corps des Mines, 1, rue Jean-Bologne, Paris, 16*.
SIMON (L.-J.), Sous-Directeur du Laboratoire de Chimie à l'École Normale supérieure, 15, rue Vauquelin, Paris, 5*.
SOLVAY (Ernest), Industriel, 43, rue des Champs-Élysées, à Bruxelles (Belgique).

- MM. SPARRE (le comte Magnus-Louis-Mario de), Doyen de la Faculté catholique des Sciences, 7, avenue de l'Archevêché, à Lyon (Rhône).
- * SPOTTISWOODE (W.), Président de la Société royale de Londres (Angleterre).
- * STRAUSS, Colonel Directeur du Génie.
- STREET (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, 13, rue Legendre, Paris, 17^e.
- SWINTON (Alan A. Campbell), Ingénieur, 66, Victoria street, Westminster, Londres (Angleterre).
- TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Petersbourg (Russie).
- TERMIER, Membre de l'Institut, Professeur à l'École nationale des Mines, 164, rue de Vaugirard, Paris, 15^e.
- * TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.
- THÉLIER (Marcel), 9, avenue de Messine, Paris, 8^e.
- * THOLLON, Physicien à l'Observatoire de Nice.
- THOMAS, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger (Algérie).
- THOUVENEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 19, boulevard Morland, Paris, 4^e.
- TOMBECK, Docteur ès sciences, 23, avenue de Versailles, à Choisy-le-Roi (Seine).
- TOUANNE (G. DE LA), Ingénieur des Télégraphes, 80, rue Bonaparte, Paris, 6^e.
- TOUREN (Charles), Professeur au Collège Rollin, 56, rue Gay-Lussac, Paris, 5^e.
- TROOST, Membre de l'Institut, 84, rue Bonaparte, Paris, 6^e.
- TULEU, Ingénieur, 58, rue d'Hauteville, Paris, 10^e.
- ULLMANN (Jacques), Constructeur électricien, 16, boulevard Saint-Denis, Paris, 10^e.
- VAGNIEZ (Édouard), à Amiens (Somme).
- * VASCHY, Ing^r des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique.
- VAUTIER (Théodore), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon (Rhône).
- * VERRIER (J.-F.-G.).
- VIGOUROUX (D^r R.), 33, avenue Trudaine, Paris, 9^e.
- VILLARD (P.), Membre de l'Institut, 45, rue d'Ulm, Paris, 5^e.
- VILLIERS (Antoine), Professeur à l'École de Pharmacie, 31, rue d'Alésia, Paris, 14^e.
- VINCENT (G.), Professeur au Lycée Saint-Louis, 26, rue de Staël, Paris, 15^e.
- VIOLLE, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, 89, boulevard Saint-Michel, Paris, 5^e.
- WALCKENAER, Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École des Mines, 218, boulevard Saint-Germain, Paris, 7^e.
- WALLON (E.), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 65, rue de Prony, Paris, 17^e.

MM. * WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut.

WEISS (Dr Georges), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Membre de l'Académie de Médecine, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin, Paris, 16^e.

WEISS (Pierre), Professeur de Physique à l'École Polytechnique de Zurich (Suisse).

WERLEIN (Ivan), Constructeur d'instruments d'Optique, 17, rue de Tournon, Paris, 6^e.

WERTHEIM SALOMONSON (I. K. A.), Professeur de Neuropathologie et d'Électrothérapie à l'Université, 43, Vonacstraat, à Amsterdam (Hollande).

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de machines, 36, rue Ampère, Paris, 17^e.

WILLOT (A.), Licencié ès sciences, Institut catholique d'Arts et Métiers, 6, rue Auber, à Lille (Nord).

WUILLEUMIER (H.), Docteur ès sciences, 20 *bis*, rue Chaptal, Paris, 9^e.

* WUNSCHENDORFF, Ingén^r-Administ^r des Postes et des Télégraphes.

WYROUBOFF, Professeur au Collège de France, 20, rue Lacépède, Paris, 5^e.

BAUER (Edmond), 9, avenue d'Eylau, Paris, 16^e.

BAUME (Georges), D^r ès sciences, Privat-docent à l'Université, 44, quai des Eaux-Vives, à Genève (Suisse).

BLANCHET (Arthur), Ingénieur, 10, rue Valentin-Haüy, Paris, 7^e.

BILLARD (Manuel-Jacques-Camille), Professeur au Lycée Charlemagne, 10, boulevard Saint-Marcel, Paris, 5^e.

BLEIN (Jean), Professeur au Lycée Charlemagne, 7, rue Lacuée, Paris, 12^e.

CARVALLO (Jacques), Professeur au Lycée Lakanal, 12, rue Rollin, Paris, 5^e.

COLSON (Albert), Professeur de Chimie à l'École Polytechnique, 47, rue de Vaugirard, Paris, 6^e.

COUDERT, Prof. du Lycée Condorcet, 33 *bis*, rue de Moscou, Paris, 8^e.

DUBOIS (M^{lle} Hélène), Professeur au Lycée de jeunes filles Victor-Hugo, 100, avenue des Ternes, Paris, 17^e.

FERRIÉ (G.), Commandant du Génie, au Dépôt central de la Télégraphie militaire, 51, boulevard Latour-Maubourg, Paris, 7^e.

GATES (M^{lle} Fanny-Cook), Associate Professor of Physics the Woman's College, à Baltimore Md (États-Unis).

GEHRKE (Ernst), D^r Phil., Privat docent a. d. Universitat, Technischen Hilfsarbeiter a. d. Physikalische Technischen Reichsansalt, Hornstrasse, 13, Berlin S. N. (Allemagne).

- MM. GÉRARD (Anatole), Ingénieur électricien, 16, rue des Grandes-Carrières, Paris, 18^e.
- GINSBERG (Alexandre), Collaborateur scientifique de la maison Krauss.
- GRANQVIST (Per-Gustav-David), Prof^r à l'Université d'Upsal (Suède).
- GRASSOT (Émile), Ingénieur, Chef des Travaux à l'École de Physique et de Chimie, 6, rue des Fossés-Saint-Marcel, Paris. 5^e.
- HAGENBACH-BISCHOFF, Professeur à l'Université, 20, Missionstrasse, à Bâle (Suisse).
- JAILLE (marquis DE LA), 26, rue d'Armenonville, à Neuilly-sur-Seine.
- JUDIC (Georges), Ingénieur électricien, 26, rue de Tourlaque, Paris, 18^e.
- KUCERA (Bohumil), D^r Phil., Professeur adjoint à l'Université tchèque. Laboratoire de Physique, à Prague (Autriche).
- LEFEBVRE (Léon), Ingénieur des Arts et Manufactures, 30, boulevard Beaumarchais, Paris, 11^e.
- MARIE (Ch.), Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne. 5, rue Basse-des-Carmes, Paris, 5^e.
- MATHIEU (Maurice-Julien), Ingénieur des Arts et Manufactures, 1 bis, rue Riboutté, Paris, 9^e.
- MOUTON (Henri), Docteur ès sciences, Attaché à l'Institut Pasteur. 42, rue Mathurin-Régnier, Paris, 15^e.
- NIWENGLOWSKI (D^r G.-H.), Professeur au Lycée Carnot, Le Kram (Tunisie).
- POZZI-ESCOT (E.), Professor, Ingeniero-Quimico, Ministerio de Fomento, Lima, Pérou (Amérique du Sud).
- RICHARD (Pierre-Joseph), Lieutenant du Génie, démissionnaire, Actuaire de la *Prévoyance*, 9, rue Carpeaux, Paris, 18^e.
- ROHAN-CHABOT (Jehan DE), 2, avenue de Villars, Paris, 7^e.
- ROUBAULT, Professeur au Lycée Lakanal, 18, avenue du Petit-Chambord, à Bourg-la-Reine (Seine).
- SAÏD (Dj. Mehmeh), Ingénieur, Attaché technique à l'ambassade de Turquie, 106, boulevard Arago, Paris, 14^e.
- TAMARU (Takurô), Professeur adjoint à l'Université, Collège des Sciences, Université de Tôkyô (Japon).
- TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).
- VIGOUROUX (D^r R.), 53, avenue Trudaine, Paris. 9^e.
-

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

- ABRAHAM (Henri)**, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm, Paris, 5^e.
- ADAM (Étienne)**, Professeur au Lycée Voltaire, 19, avenue du Bel-Air, Paris, 12^e.
- ADAM (Jules-Théophile)**, Professeur au Collège, 12, rue de Rome, à Calais (Pas-de-Calais).
- ADAMS (Edwin-P.)**, Ph. Dr., Professor of Physics Princeton University, Princeton, N. Y. (États-Unis).
- AERTZ**, Ingénieur, 137, rue Saint-Dizier, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- ALBERTOTTI (Guiseppe)**, Direttore della Clinica oculistica nella R. Università di Padova (Italie).
- ALBO (M^{me} Lucie)**, Professeur au Lycée de jeunes filles, 5, rue de la Balance, à Toulouse (Haute-Garonne).
- ALIAMET**, Inspecteur, Chef du Laboratoire électrochimique au Chemin de fer du Nord, 46, rue de la Concorde, à Asnières (Seine).
- ALLAIRE (Dr G.)**, Chef des travaux de Physique à l'École de Médecine et de Pharmacie, Chef du Service d'électrothérapie et de radiographie de l'Hôtel-Dieu, 5, rue Santeuil, à Nantes (Loire-Inférieure).
- ALLARD (Félix)**, Docteur en Médecine, 23, rue Blanche, Paris, 9^e.
- AMADUZZI (Lavoro)**, Professeur à l'Institut de Physique de l'Université de Bologne (Italie).
- AMAGAT (E.-H.)**, Membre de l'Institut, Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 19, avenue d'Orléans, Paris, 14^e.
- AMAR (Jules)**, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 62, boulevard Saint-Germain, Paris, 5^e.
- AMES (Joseph-S.)**, Professor of Physics, Director of the Physical Laboratory, John Hopkins University, Baltimore, Maryland (États-Unis).
- AMIEUX (M^{lle} Anne-Léontine-Nicolas)**, Professeur de Sciences aux Lycées Lamartine et Victor-Hugo, 16, rue d'Angoulême, Paris, 11^e.
- ANASTASSIADES (An.)**, Docteur, Professeur de Mathématiques à l'École évangélique, à Smyrne (Turquie).
- ANCEL (Louis)**, Ingén. des Arts et Manufactures, 13, rue Brochant, Paris, 16^e.
- ANDRADE (Jules-Frédéric-Charles)**, Professeur à la Faculté des Sciences, 3, villas Bisontines, à Besançon (Doubs).
- ANDRAULT (Louis-Gustave-Adolphe)**, Professeur au Lycée et à l'École des Sciences, 3, rue des Écoles, à Chambéry (Savoie).
- ANDRÉ (Ch.)**, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Lyon (Rhône).
- ANDREEF (Nicolas)**, Institut de Physique de l'Université, à Bâle (Suisse).

MM.

ANGOT (Charles-Alfred), Directeur du Bureau central météorologique, Prof^r à l'Institut national agronomique, 176, rue de l'Université, Paris, 7^e.

ANTHELME (Frère Edmond), Professeur de Sciences, Institution de Passy, à Froyennes (Belgique).

APOIL, Censeur de l'École de la Manufacture de Sèvres, 14, rue de Brancas, à Sèvres (Seine-et-Oise).

APPELL, Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences, 17, rue Bonaparte, Paris.

APPERT (Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur verrier, 50, rue de Londres, Paris, 8^e.

ARGYROPOULOS, Recteur de l'Université, à Athènes (Grèce).

ARGYROPOULOS (Tassos D.), Chimiste-Bactériologiste, à Smyrne (Turquie d'Asie).

ARIÈS (Emmanuel), Lieutenant-Colonel du Génie en retraite, 9, boulevard du Roi, à Versailles (Seine-et-Oise).

ARMAGNAT, Ingénieur-Conseil, ancien Chef du Bureau des mesures électriques des Ateliers Carpentier, 67, rue du Ranelagh, Paris, 16^e.

ARMENGAUD (jeune), Ingénieur-Conseil, 23, boul. de Strasbourg, Paris, 10^e.

ARMET (Henri), Capitaine du Génie, 8 bis, rue Marceau, à Montpellier (Hérault).

ARNOUX (René), Ingénieur civil, 85, rue du Ranelagh, Paris, 16^e.

AROLÈS, Professeur au Lycée de Toulouse (Haute-Garonne).

ARSONVAL (D^r d'), Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 12, rue Claude-Bernard, Paris, 5^e.

ARTH, Chargé d'un Cours de Chimie industrielle à la Faculté des Sciences, 7, rue de Rigny, à Nancy (Mourthe-et-Moselle).

ARTHAUD (D^r), Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 40, rue Denfert-Rochereau, Paris, 5^e.

ARTILLERIE (Section technique de l'), 1, place Saint-Thomas-d'Aquin, Paris, 7^e.

ASSIER DE POMPIGNAN, Lieutenant de vaisseau, Attaché au Service hydrographique de la Marine, 13, rue de l'Université, Paris, 7^e.

ASSOCIATION GÉNÉRALE DES ÉTUDIANTS DE PARIS (Bibliothèque de l') (Section des Sciences), 43, rue des Écoles, Paris, 5^e.

AUBERT (Auguste), Professeur au Lycée de Toulouse (Haute-Garonne).

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 13, rue Bernoulli, Paris, 8^e.

AUBERT (Paul), Professeur au Lycée Charlemagne, 11, rue de la Croix, à Nogent-sur-Marne (Seine).

AUBRY (Alfred-Joseph), Prof^r au Lycée de Belfort (Territoire de Belfort).

AUDINOS (Jacques-Marcellin), Professeur au Lycée de Tournon (Ardèche).

AUGÉ, Docteur en Médecine, 16, boulevard de la Gare, à Narbonne (Aude).

AUMONT (Emmanuel), Ingénieur agronome, Usine de l'Air liquide, 137 bis, rue de Paris, à Boulogne-sur-Seine (Seine).

AUPAIX (Charles), Professeur au Lycée, 8, place Saint-Hilaire, Niort (Deux-Sèvres).

AUSCHER (Ernest), D^r en Médecine, 20, rue Euler, Paris, 8^e.

MM.

AUSTIN (L.-W.), Ph. D., Bureau of Standards, Washington D. C. (États-Unis).

AUZELLE, Professeur au Lycée, 26, rue Alexandre-Duval, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

AYET (l'abbé), Professeur de Mathématiques à l'École Fénélon, à Bar-le-Duc (Meuse).

AZEREDO (Francisco de Paula d'), Professeur de Physique à l'Académie Polytechnique, Rua do Sol, 29, à Porto (Portugal).

BABINSKI (Henri), Ingénieur civil des Mines, 170 bis, boulevard Haussmann, Paris, 8^e.

BABLON, 42, rue Boulard, Paris, 14^e.

BACCEI (Pietro), Professeur de Physique, R. Istituto tecnico di Bari (Italie).

BACHELIER (Gustave), Professeur au Lycée, 12, boulevard de la Banque, à Bar-le-Duc (Meuse).

BACHELIER (Victor-François-Charles), Ing^r, 9, rue Lakanal, Grand-Montionge (Seine).

BACON (Arthur-A.), Professor of Physics, Hobart College, 488, Main Street, Geneva, N. Y. (États-Unis).

BADONNEL (Marie-Gabriel-Victor), Professeur au Lycée, 2, square Castan, à Besançon (Doubs).

BAECHLIN (Paul), Chimiste, Licencié ès sciences physiques, 9, rue de la Comète, Paris, 9^e.

BAILLAUD (B.), Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire de Paris.

BAILLAUD (Jules), Astronome adjoint à l'Observatoire, 148, boulevard Montparnasse, Paris, 14^e.

BAILLE (J.-B.), Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, 26, rue Oberkampf, Paris, 11^e.

BARBASTE (Antoine), Licencié ès sciences physiques, à Antrain-sur-Couesnon (Ille-et-Vilaine).

BARBÉ (D^r), 54, rue Cazault, à Alençon (Orne).

BARBILLION (Louis), Professeur de Physique industrielle à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Institut électrotechnique, 9, rue Villars, à Grenoble (Isère).

BARDY (Charles), Directeur honoraire du Service scientifique des Contributions indirectes, 30, rue de Miromesnil, Paris, 8^e.

BARJON (François), Médecin des Hôpitaux de Lyon, 81, rue de la République, à Lyon (Rhône).

BARNES (Howard-Turner), Doctor of science, Macdonald Professor of Physics, McGill University, Montreal (Canada).

BARRE (Eugène), Capitaine du Génie, détaché à l'État-Major particulier de l'Armée, 8, quai de la République, à Verdun (Meuse).

BARRET (G.), Docteur en Médecine, Chef du Service de Radiologie et d'Électrothérapie du dispensaire Furtado-Heine, 97, boul. Malesherbes, Paris, 8^e.

BARTH (Johann-Ambrosius), Libraire, Dorrienstrasse, 16, à Leipzig (Allemagne).

MM.

- BARUS (Carl)**, Professeur de Physique, Brown University, Providence, R. I. (États-Unis).
- BARY (Paul)**, Ingénieur-Conseil, 1, avenue Péterhof, Paris.
- BASSAC**, Professeur au Lycée de Marseille (Bouches-du-Rhône).
- BASSÉE (Jules-Charles)**, Constructeur d'instruments de Physique, 4, avenue de la Dame-Blanche, à Fontenay-sous-Bois (Seine).
- BASSET (Alphonse)**, Professeur au Lycée de Bourges (Cher).
- BASSOT (le Général)**, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire de Nice (Alpes-Maritimes).
- BATTELLI**, Professeur à l'Université de Pise (Italie).
- BAUD (Agar-I.-H.)**, Fabricant, 92, Hatton Garden, Londres, E. C. (Angleterre).
- BAUDEUF-BAYARD (M^{me} Henriette)**, Professeur au Lycée de jeunes filles, 97, rue Bègles, à Bordeaux (Gironde).
- BAUER (Edmond)**, 9, avenue d'Eylau, Paris, 16^e.
- BAUME-PLUVINEL (Comte Aymar de la)**, 7, rue de la Baume, Paris, 7^e.
- BAUME (Georges)**, D^r ès sciences, Privat-docent à l'Université, 44, quai des Eaux-Vives, à Genève (Suisse).
- BAUMGART (Ch.)**, Agrégé de l'Université, rue Zawodskaya, 8, Log. 2. a Saint-Petersbourg (Russie).
- BAYEUX (Raoul)**, D^r en Médecine, 25, avenue Kléber, Paris, 16^e.
- BEATTIE (John-Carruthers)**, D. Sc., F. R. S. C., A. I. M. E. E.. Professor of Physics, South African College, Capetown (Possessions anglaises).
- BEAULARD (Fernand)**, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, Université de Montpellier, 41, boulevard des Arceaux, à Montpellier (Hérault).
- BECKER**, Préparateur au Collège Rollin, avenue Trudaine, Paris, 9^e.
- BECLÈRE (D^r Antoine)**, Membre de l'Académie de Médecine, Médecin de l'Hôpital Saint-Antoine, 122, rue La Boétie, Paris, 8^e.
- BECQUEREL (Jean)**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur au Muséum d'Histoire naturelle, 15, boulevard Saint-Germain, Paris, 5^e.
- BÉDART**, Professeur agrégé de Physiologie à la Faculté de Médecine, 15, rue Masséna, à Lille (Nord).
- BÉDOREZ**, Inspecteur d'Académie, Directeur de l'Enseignement primaire du département de la Seine, 21, quai de Montebello, Paris.
- BÉGHIN (Auguste)**, Professeur à l'École nationale des Arts industriels, Directeur du Laboratoire municipal, 30, rue Saint-Antoine, à Roubaix (Nord).
- BÉGIN (l'abbé Pierre-Achille)**, Professeur au Séminaire Saint-Charles-Borromée, à Sherbrooke (Canada).
- BEL (Edgar)**, Professeur au Lycée d'Oran (Algérie).
- BÉLIN (Édouard)**, 2, rue Poncelet, Paris, 17^e.
- BELL (Alexander-Graham)**, 1331, Connecticut Ave., Washington, D. C. (États-Unis).
- BELLATI (Manfredo)**, Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).
- BELLIENI**, Opticien-constructeur, 17, rue Carnot, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MM.

BELOT (D^r), 36, rue de Bellechasse, Paris, 7^e.

BÉNARD (Henri), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 35 bis, rue de Condé, à Lyon (Rhône).

BENDORF (D^r Hans), Professeur à l'Université, Institut de Physique, à Gratz (Autriche).

BENOIST (Louis), Professeur au Lycée Henri IV, 26, rue des Écoles, Paris, 5^e.

BENOIT (D^r René), Correspondant de l'Institut, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres (Seine-et-Oise).

BERG (Max), Ingénieur de la maison Krauss, 21, rue Albouy, Paris, 10^e.

BERGÉ (Eugène), Professeur au Collège, 10, avenue Voltaire, à Lunéville (Meurthe-et-Moselle).

BERGER (D^r Émile), Membre correspondant des Académies royales de Médecine de Belgique et de Madrid, 3, rue Anatole-de-la-Forge, Paris, 17^e.

BERGON, Directeur honoraire au Ministère des Postes et Télégraphes, 9, rue de Condé, Paris, 6^e.

BERGONIÉ (D^r), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine, 6 bis, rue du Temple, à Bordeaux (Gironde).

BERLEMONT, Constructeur d'instruments de précision, 11, rue Cujas, Paris, 5^e.

BERNARD (Alfred), Professeur en retraite, 16, rue Héliot, à Toulouse (Haute-Garonne).

BERNARD (Louis), Prof^r au Lycée, 21, rue Saint-Éloi, à Orléans (Loiret).

BERNARD, Professeur au Lycée d'Alais (Gard).

BERNOULLI (Auguste-Léonard), Assistant au Laboratoire de Physique de l'École Polytechnique, 13, Theaterplatz, à Aix-la-Chapelle (Allemagne).

BERNOULLI (D^r Rud.), Bachmerstrasse, 237, à Cologne-Lindenthal (Allemagne).

BERSON, Professeur au Lycée Condorcet, 5, place de Jussieu, Paris, 5^e.

BERTHELOT (Daniel), Docteur ès sciences, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 31, rue de Tournon, Paris, 6^e.

BERTHET, Ingénieur en chef de la Marine, à bord de la *Patrie*.

BERTHON (Louis-Alfred), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur de la Société industrielle des Téléphones, 51, rue de la Chaussée-d'Antin, Paris, 9^e.

BERTIN, Membre de l'Institut, Directeur du Génie maritime du cadre de réserve, 8, rue Garancière, Paris, 6^e.

BERTIN-SANS (D^r Henri), Professeur à la Faculté de Médecine, 3, rue de la Merci, à Montpellier (Hérault).

BERTINET (André-Joseph-Émile), Professeur au Lycée Buffon, 2, rue Michelet, à Issy-les-Moulineaux (Seine).

BERTOUX, Professeur au Lycée de Lille (Nord).

BESOMBES (Noël), Directeur des Postes et des Télégraphes, 33, boulevard National, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

BESSON (Charles-Ernest-Augustin), Prof^r au Collège de Saint-Dié (Vosges).

MM.

BESSON (Louis), Sous-Chef à l'Observatoire de Montsouris, 38, avenue de Châtillon, Paris, 14^e.

BESSON (P.-J.-A.), Ingén^r des Arts et Manufactures, Administrateur-délégué de la Société centrale de Produits chimiques, 44, rue des Écoles, Paris, 5^e.

BÉTHENCOURT, Professeur au Lycée d'Alençon (Orne).

BETHOUX (Victor), Prof^r au Lycée, 33, boul. Saint-André, à Beauvais (Oise).

BEYER (Anatol-Apollonowitch), Professeur de Physique à l'École d'Artillerie Konstantinowskoë, à Saint-Petersbourg (Russie).

BIAIS (D^r), Professeur à l'École de Médecine de Limoges (Haute-Vienne).

BIBLIOTHÈQUE DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES.

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ DE BESANÇON.

BIBLIOTHÈQUE DES FACULTÉS DE CAEN.

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE DE LILLE.

BIBLIOTHÈQUE DE L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE.

BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.

BIDLOT (Émile-M.-E.), Ingénieur de la Compagnie belge pour la fabrication des compteurs et matériel à gaz, eau, électricité, 129, rue des Palais, Bruxelles (Belgique).

BIED (Jules), ancien Élève de l'École Polytechnique, Directeur du Laboratoire de la Société J. et A. Pavin de Lafarge, Le Teil (Ardèche).

BIERNACKI, Professeur de Physique à l'École Polytechnique, Institut de Physique de l'École Polytechnique de Varsovie (Russie).

BIGET (Albert), Percept^r des Contributions directes, à Bologne (Haute-Marne).

BILARD (André), ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité, 12, boulevard de Courcelles, Paris, 17^e.

BILLARD (Manuel-Jacques-Camille), Professeur au Lycée Charlemagne, 22, rue de la Clef, Paris, 5^e.

BING, Docteur en Médecine, 15, rue Pajou prolongée, Paris, 16^e.

BIRHANS (Nicolas-Flavien), Préparateur au Lycée Henri-IV, 32, avenue des Charmes, à Vincennes (Seine).

BIRKELAND (Kristian), Professeur à l'Université de Christiania (Norvège).

BJERKNES (Vilhelm), Professeur à l'Université de Christiania (Norvège).

BLAEVOET (l'abbé Henri), Professeur à l'Institution Notre-Dame-des-Victoires, rue Notre-Dame-des-Victoires, à Roubaix (Nord).

BLANC (Auguste), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes (Ille-et-Vilaine).

BLANC (Gian Alberto), Docteur ès sciences, Institut de Physique, via Pianisperna, à Rome (Italie).

BLANCHET (Arthur), Ingénieur, 10, rue Valentin-Haüy, Paris, 7^e.

BLAREZ (le D^r), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 3, rue Gouvion, à Bordeaux (Gironde).

BLASERNA (P.), Sénateur, Professeur à l'Université, R. Istituto fisico, via Pianisperna, à Rome (Italie).

BLEIN (Jean), Professeur au Lycée Charlemagne, 7, rue Lacuée, Paris, 12^e.

MM.

- BLOCH (Salvador)**, Professeur au Lycée Saint-Louis, 328, rue Saint-Jacques, Paris, 5°.
- BLOCH (Eugène)**, Professeur au Lycée Saint-Louis, 11, rue Rataud, Paris, 5°.
- BLOCH (Moïse)**, Prof^r au Lycée, 9, rue des Tuileries, à Saint-Étienne (Loire).
- BLONAY (Roger de)**, 23, rue de La Rochefoucauld, Paris, 9°.
- BLONDEL**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts-et Chaussées, 41, avenue de La Bourdonnais, Paris, 7°.
- BLONDIN (Joseph)**, Professeur au Collège Rollin, Directeur technique au journal *La Revue Électrique*, 171, rue du Faubourg-Poissonnière, Paris, 9°.
- BLONDLOT (R.)**, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- BOBERIL (le Comte Roger du)**, Hôtel des Pins, à Cannes (Alpes-Maritimes).
- BOBYLEFF**, Prof^r de Mécanique à l'Université de Saint-Petersbourg (Russie).
- BOCAT (l'abbé)**, Licencié ès sciences physiques, Professeur au Collège Saint-François-de-Sales, rue Vannerie, à Dijon (Côte-d'Or).
- BODIN (Maxime-Raymond)**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 2, place de l'Estran, à Calais (Pas-de-Calais).
- BODOLA de ZAGON (Louis de)**, Professeur de Géodésie à l'École Polytechnique, VIII Horanszky utca 9, Budapest (Hongrie).
- BOIS (D^r E.-H. du)**, Professeur à l'Université, Horwartstrasse, 21, à Berlin N. W. (Allemagne).
- BOISARD (Louis)**, Prof^r au Lycée Carnot, 129, avenue de Wagram, Paris, 17°.
- BOITEL (Louis-Albert)**, Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux (Seine).
- BOIZARD (Gaston)**, Professeur au Lycée de Toulouse (Haute-Garonne).
- BONACINI (D^r Carlo)**, Professeur de Physique au « R. Liceo Muratori », à Modène (Italie).
- BONAPARTE (Prince Roland)**, Membre de l'Institut, 10, av. d'Iéna, Paris, 16°.
- BONDAT (Joseph)**, Professeur à l'École de Sorèze (Ain).
- BONGIOVANNI (Joseph)**, Professeur de Physique à l'Université Forrare (Italie).
- BORDAS (D^r Frédéric)**, Professeur suppléant au Collège de France, 58, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 6°.
- BORDÉ (Paul)**, Ingénieur opticien, 29, boulevard Haussmann, Paris, 9°.
- BORDENAVE (L.)**, Dir^r de l'usine Menier, à Noisiel-sur-Marne (Seine-et-Marne).
- BORDET (Lucien)**, ancien Élève de l'École Polytechnique, ancien Inspecteur des Finances, Administrateur de la Compagnie des Forges de Châtillon et Commentry, 181, boulevard Saint-Germain, Paris, 6°.
- BORDIER (D^r Henri)**, Professeur, Agrégé de la Faculté de Médecine, 7, rue Grolée, à Lyon (Rhône).
- BORGMANN (J.-J.)**, Professeur à l'Université de Saint-Petersbourg (Russie).
- BORIS**, ancien Élève de l'École Polytechnique, 147, avenue Malakoff, Paris, 16°.
- BOSE (Jagadis, Chunder)**, Presidency College, à Calcutta (Indes anglaises).
- BOSLER (Jean)**, Aide-Astronome à l'Observatoire de Meudon, Parc des Griquettes, à Meudon (Seine-et-Oise).

MM.

- BOSSCHE** (l'abbé **Hubert van den**), Directeur du Couvent de Saint-Vincent-de-Paul, à Salzaete (Belgique).
- BOTTIN** (**Alphonse**), Professeur au Lycée de Saint-Quentin (Aisne).
- BOUASSE** (**Henri**), Professeur à la Faculté des Sciences, rue du Japon, à Toulouse (Haute-Garonne).
- BOUCHARD** (**D^r**), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté de Médecine, 174, rue de Rivoli, Paris, 1^{er}.
- BOUCHER** (**Anthelme**), Ingénieur à Prilly, canton de Vaud (Suisse).
- BOUCHEROT** (**Paul**), Ingénieur-Conseil, 127, avenue de Paris, Parc de la Malmaison, à Rueil (Seine-et-Oise).
- BOUDIN**, Professeur au Lycée, 42, rue de Loigny, à Orléans (Loiret).
- BOUDREAUX** (**Léon**), Propriétaire et Directeur des Ateliers de Galvanoplastie, 8, rue Hautefeuille, Paris, 6^e.
- BOUDRET** (**Engène**), Prof^r au Lycée Janson-de-Sailly, 39, rue Vital, Paris, 16^e.
- BOUÉ** (**M^{lle} Marie**), Professeur au Lycée Lamartine, 129, avenue du Roule, à Neuilly-sur-Seine.
- BOUIC** (**P.**), Professeur honoraire au Lycée, 27, rue Célestin-Port, à Angers (Maine-et-Loire).
- BOULANGER** (**Julien**), Colonel du Génie, en retraite, 2 *bis*, rue Gagneraux, à Dijon (Côte-d'Or).
- BOULANGER** (**Charles-Émile**), ancien Élève de l'École des Arts et Métiers de Châlons, Chef des ateliers, faisant fonction d'Ingénieur à l'École nationale d'Arts et Métiers d'Angers (Maine-et-Loire).
- BOULÉ** (**Auguste**), Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, 7, rue Washington, Paris, 8^e.
- BOULGAKOFF**, Privat-docent à l'Université de Saint-Petersbourg (Russie).
- BOULLAY**, Professeur au Lycée de Bordeaux (Gironde).
- BOULOUCH** (**R.**), Professeur au Lycée de Bordeaux (Gironde).
- BOURGAREL** (**Paul**), Prof^r au Lycée Carnot, 145, boul. Malesherbes, Paris, 17^e.
- BOURGEOIS** (**Léon**), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri-IV, Paris, 4^e.
- BOURGEOIS** (**Robert**), Lieutenant-Colonel, Chef de la Section de Géodésie au Service géographique de l'Armée, 140, rue de Grenelle, Paris, 7^e.
- BOURGET** (**Henry**), Direct^r de l'Observatoire de Marseille (Bouches-du-Rhône).
- BOURLET** (**Carlo**), Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 56, rue Raynouard, Paris, 16^e.
- BOUTARIC**, Professeur au Lycée de Pau (Basses-Pyrénées).
- BOUTY** (**E.**), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 5, rue du Faubourg-Saint-Jacques, Paris, 14^e.
- BOYER** (**Maurice-Gaston**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 33, rue Félix-Faure, Le Havre (Seine-Inférieure).
- BRANLY** (**D^r E.**), Professeur à l'École libre des Hautes Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville, Paris, 7^e.
- BREWER** (**William-J.**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain, Paris, 5^e.

MM.

- BRIEU** (M^{me}), à Saint-Céré (Lot).
- BRILLOUIN** (Marcel), Professeur au Collège de France, 31, boulevard de Port-Royal, Paris, 13^e.
- BRINER** (Émile), Docteur ès sciences, Privat-docent à l'Université, 11, quai des Bergues, à Genève (Suisse).
- BRISAC**, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie parisienne du Gaz, 58, rue de Châteaudun, Paris, 9^e.
- BROCA** (D^r André), Répétiteur à l'École Polytechnique, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau, Paris, 7^e.
- BROCH**, Professeur au Collège Saint-Pol-de-Léon (Finistère).
- BROCQ** (F.), Ingénieur en chef à la Compagnie des Compteurs, 185, rue de Vaugirard, Paris, 15^e.
- BRODMANN** (D^r), Ober. Bibliothekar der Technische Hochschule Fridericiana, à Karlsruhe (Allemagne).
- BROGLIE** (M. de), Enseigne de vaisseau, 29, rue Chateaubriand, Paris, 8^e.
- BRONIEWSKI** (Witold), Ingénieur électricien, 207, boul. Raspail, Paris, 14^e.
- BROUQUIER** (L.), Prof^r, 28, rue Caraman, à Toulouse (Haut-Garonne).
- BROWNE** (H.-V.), Directeur de la Compagnie Direct Spanish Telegraph, à L'Isard-Sainte-Marguerite, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- BRUÈRE** (André de la), Ingénieur des Arts et Manufactures, 76, rue de la Basille, à Nantes (Loire-Inférieure).
- BRUNET** (Maurice), Professeur au Lycée de Carcassonne (Aude).
- BRUNHES** (Bernard), Prof^r à la Faculté des Sciences, Direct^r de l'Observatoire du Puy de Dôme, 37, rue Montlosier, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
- BRUNSWICK**, Ingénieur principal, Chef du Service technique de la maison Bréguet, 1, rue Alphonse-Daudet, Paris.
- BRYLINSKI** (Émile), Sous-Directeur du *Triphasé*, 5, avenue Teissonnière, à Asnières (Seine).
- BUCHERER** (Alfred), Dr. Phil. Privat-docent de Physique à l'Université, 61, Kônigstrasse, à Bonn (Allemagne).
- BUDDE** (D^r E.), Professeur, Berlinerstrasse, 54, à Charlottenburg (Allemagne).
- BUGUET** (Abel), Professeur au Lycée, à l'École des Sciences et à l'École de Médecine, 14, rue des Carmes, à Rouen (Seine-Inférieure).
- BUISSON** (Henri), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Marseille (Bouches-du-Rhône).
- BURGESS** (George-Kimball), D. Sc. Paris, Associate Physicist Bureau of Standards, Washington D. C. (États-Unis).
- BURTON** (E.-J.), Demonstrator of Physik University of Toronto (Canada).
- BUSILA** (Constantin-D.), Ingén^r des Ponts et Chaussées. Ingén^r électricien, Ingénieur au service de la construction du Port, à Constantza (Roumanie).
- CABRAL** (Paul-Benjamin), Ingénieur civil, Professeur d'Électrochimie, Inspecteur général des Télégraphes et des Industries électriques, Directeur des Ateliers du Ministère des Travaux publics de Portugal, R. do Duque de Bragança, 20, à Lisbonne (Portugal).

MM.

CABRERA (Dr Felipe-Blas), Professeur à la Faculté des Sciences, Serano, 82, Madrid (Espagne).

CADEMARTORY (Léon), Ingénieur de la Marine, 2, rue Melchior, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

CAILHO, Ingénieur des Télégraphes, 23, rue de Rémusat, Paris, 16^e.

CAILLETET (L.-P.), Membre de l'Institut, 75, boulevard Saint-Michel, Paris, 5^e.

CALMELS, Constructeur, 150, boulevard Montparnasse, Paris, 14^e.

CALMETTE (Louis), Professeur au Prytanée militaire, 7, boulevard d'Alger, à La Flèche (Sarthe).

CALZECCHI (Temistocle), Dr in Fisica, Professor di Fisica nel R. Liceo Cesare Beccaria (Italie).

CAMBOULAS, Ingénieur des Arts et Manufactures, à Saint-Geniès-d'Olt (Aveyron).

CAMICHEL (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences, 11, rue Bayard, à Toulouse (Haute-Garonne).

CAMPANILE (Filippo), Dr, Professeur à l'École supérieure d'Agriculture, Mondragone, 24, à Portici (Italie).

CANCE (Alexis), Ingénieur électricien, 5, rue Saint-Vincent-de-Paul, Paris, 10^e.

CANTONE (Michele), Professeur à l'Université de Naples (Italie).

CAPELLE (Édouard), à Toulouse (Haute-Garonne).

CARALP (Pierre), Professeur au Lycée, maison Longe, allée de Villote, à Foix (Ariège).

CARDOSO (Ettore-Vittorio), Chimiste, 3, Grande Rue, à Genève (Suisse).

CARIMEY, Prof^r au Lycée Saint-Louis, 44, boulevard Saint-Michel, Paris, 6^e.

CARLIER (Joseph), Ingénieur, attaché au Service électrique des Chemins de fer de l'État belge, 16, rue Destouvelles, à Bruxelles (Belgique).

CARON (M^{lle}), Directrice du Lycée de jeunes filles de Laval (Mayenne).

CARPENTIER (Jules), Membre de l'Institut, Membre du Bureau des Longitudes, 34, rue du Luxembourg, Paris, 6^e.

CARPENTIER (Jean), 2, rue de Fleurus, Paris, 6^e.

CARRÉ (F.), Prof^r au Lycée Janson-de-Sailly, 33, rue Davioud, Paris, 16^e.

CARRIER (M^{lle} Anna), Professeur au Lycée de jeunes filles de Mâcon (Saône-et-Loire).

CARTHEIM-GYLLENSKÖLD (V.), Dr ès sciences, Secrétaire de la Commission Royale suédoise pour la mesure d'un arc de méridien au Spitzberg, 4, Villagatan, à Stockholm V. (Suède).

CARTMEL (William-Bell), Instructor in Physics, Jefferson Physical Laboratory Harvard University, Cambridge, Mass. (États-Unis).

CARVALLO (E.), Examineur des élèves à l'École Polytechnique, 1, rue Clovis, Paris, 5^e.

CARVALLO (Jacques), Agrégé des Sciences physiques, Préparateur à la Sorbonne, 13, rue Rollin, Paris, 5^e.

CASPARI (E.), Ingénieur hydrographe de la Marine, Répétiteur à l'École Polytechnique, 30, rue Gay-Lussac, Paris, 5^e.

MM.

CASTAING-ALFARO (Louis), Juge en premier ressort au Criminel du département d'Alajuela (Costa-Rica), Membre de la Société de Photographie, 67, calle de Guardia, Alajuela (République de Costa-Rica).

CASTEX (Edmond), Professeur à l'École de Médecine de Rennes, 11, rue Kléber, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

CATHIARD (André-Georges-Marcel), Ingénieur E. S. E., 19, rue Singer, Paris, 16^e.

CAUSSE, Professeur au Collège de Brive (Corrèze).

CAZES (Laurent), Répétiteur général au Lycée Saint-Louis, 44, boulevard Saint-Michel, Paris, 6^e.

CHABAUD (Victor), 28, avenue du Petit-Chambord, à Bourg-la-Reine (Seine).

CHABERT (Léon), Ingénieur électricien, 38, rue Juliette-Lamber, Paris, 16^e.

CHABRIERIE, Principal du Collège de Treignac, à Sarran, par Corrèze (Corrèze).

CHABRIÉ (Camille), Dr ès sciences, Sous-Dir^e du Laboratoire d'enseignement pratique de Chimie appliquée, 83, rue Denfert-Rochereau, Paris, 14^e.

CHAIR, Professeur au Lycée, 9, rue Cassotte, à Besançon (Doubs).

CHAIRY, Prof^r au Lycée Janson-de-Sailly, 60, rue du Ranelagh, Paris, 16^e.

CHAMPIGNY (A.), ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur-civil des Mines, 11, rue de Berne, Paris, 8^e.

CHANCEL (Félix), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

CHANOZ (Dr), Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Lyon (Rhône).

CHAPOCHNIKOFF (A.), Assistant au Laboratoire de Physique du Polytechnicum, Les noj. Sonowska, Institut de Physique, à St-Petersbourg (Russie).

CHAPPUIS (James), Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 5, rue des Beaux-Arts, Paris, 6^e.

CHAPPUIS (Pierre), Sevogelstrasse, 34, à Bâle (Suisse).

CHARDONNET (le comte de), ancien Élève de l'École Polytechnique, 22, rue de l'Arcade, Paris, 8^e.

CHARLE (Henri), Professeur au Lycée, 6, rue de l'Entrepôt, à Belfort (Territoire de Belfort).

CHARPENTIER (Dr A.), Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue des Quatre-Églises, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

CHARPY (G.), Docteur ès sciences, Directeur des Forges de Saint-Jacques, 27, avenue de la Gare, Montluçon (Allier).

CHASSAGNY (Michel), Inspecteur d'Académie, 16, rue Gustave-Zédé, Paris, 16^e.

CHASSY, Professeur à la Faculté libre des Sciences, à Lyon (Rhône).

CHATEAU (C.), ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de précision, 7, rue Talma, Paris, 16^e.

CHATELAIN (Michel de), Professeur de Physique à l'École supérieure des Mines, à Saint-Petersbourg (Russie).

CHAUMAT (Henri), Sous-Directeur de l'École supérieure d'Électricité, 26, rue Ernest-Renan, Paris, 15^e.

MM.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, Chef de traction au Chemin de fer, 3, place Jus-sieu, Paris, 5^e.

CHAUVEAU, Membre de l'Institut, 4, rue du Cloître-Notre-Dame, Paris.

CHAUVEAU, ancien Élève de l'École Normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau central, 51, rue de Lille, Paris, 7^e.

CHAUVIN (Raphaël), Ingénieur électricien, 186, rue Championnet, Paris, 18^e.

CHAVANNE (George-Charles), Chargé de Cours à l'Université libre, 167, rue Berkendael, à Bruxelles (Belgique).

CHAVANON (Antoine), Ingénieur, 36, chemin des Platanes, Lyon-Mouplaisir (Rhône).

CHAVES (Antonio Ribeiro), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

CHENEVEAU (C.), D^r ès sciences, Chef des Travaux pratiques de Physique à l'École de Physique et de Chimie, 229, rue du Faub.-Saint-Honoré, Paris, 8^e.

CHEVALLIER (Henry), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire d'Électricité industrielle, 8, rue Villedieu, à Bordeaux (Gironde).

CHIPART, Ingén^r des Mines, 3, rue de la Charité, à Saint-Étienne (Loire).

CHISTONI (Ciro), Directeur de l'Institut de Physique terrestre, Professeur à l'Université Largo S. Marcellino, 10, à Naples (Italie).

CHOMAT (l'abbé Pierre), Licencié ès sciences, 10, rue Franklin, Paris, 16^e.

CHRÉTIEN (Arthur-Louis-Camille), Inspecteur d'Académie, à Digne (Basses-Alpes).

CHRÉTIEN (E.), Prof^r au Lycée, 6, rue Jules-Simon, à St-Brieuc (Côtes-du-Nord).

CHRÉTIEN, Astronome à l'Observatoire de Nice (Alpes-Maritimes).

CHUITON (D^r), 2, rue de la Mairie, à Brest (Finistère).

CHWOLSON (Oreste), Professeur à l'Université Impériale, Wassili Ostrow, 8 ligne, Maison n^o 19, Log. n^o 5, à Saint-Petersbourg (Russie).

CIRERA (Rév. P.), ancien Chef du Service magnétique à l'Observatoire de Manille, Direct^r-Fondat^r de l'Observatoire de l'Èbre, à Tortosa (Espagne).

CLARENCE (J.-Forth), M^A, B. Sc., 178, Victoria Road, Old Charlton Kent (Angleterre).

CLARK (Arthur-L.), Ph. D^r, Professor of Physics Queen's University, 217, William St., Kingston, Ontario (Canada).

CLAUDE (Ernesto), Ingénieur, Gaztambide, 17, à Madrid (Espagne).

CLAUDE (Georges), 30, rue Boissière, Paris, 16^e.

CLAVEAU, Professeur au Lycée de Lyon (Rhône).

CLAVERIE, Censeur du Lycée Condorcet, 65, rue Caumartin, Paris, 9^e.

CLÉMENT (Louis), 18, rue Louis-le-Grand, Paris, 2^e.

CLOAREC, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

CLUZET, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 45, rue de Metz, à Toulouse (Haute-Garonne).

COBLENTZ (W.), Assistant Physics, Bureau of Standards, Washington, D. C. (États-Unis).

COCHET (Léon), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Société d'Eaux et d'Éclairage du Var, à Grimaud (Var).

MM.

COCK (Adhémar de), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 83, boulevard du Midi, à Ostende (Belgique).

COGIT, Constructeur d'appareils pour les Sciences, 36, boulevard Saint-Michel, Paris, 8^e.

COGNET (Alfred), Prof^r au Lycée, 56, avenue de Paris, à Niort (Deux-Sèvres).

COLARDEAU (P.), Professeur au Lycée de Lille (Nord).

COLARDEAU (Emmanuel), Professeur au Collège Rollin, 13, rue de Navarin, Paris, 9^e.

COLIN (Th.), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 6, rue Victor-Considérant, Paris, 14^e.

COLLANGETTES (R. P.), Prof^r à l'Université St-Joseph, à Beyrouth (Syrie).

COLLIGNON (Benoît), ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur de Mathématiques, 74, rue Jean-Jacques-Rousseau, à Dijon (Côte-d'Or).

COLLOT (Armand), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'instruments de précision, 8, boulevard Edgar-Quinet, Paris, 14^e.

COLNET D'HUART (François de), Docteur ès sciences, Professeur à l'Athénée, avenue Reinsheim, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLOMAN DE SZILY, Akademia utexa, 2, à Budapest (Hongrie).

COLSON (Albert), Professeur de Chimie à l'École Polytechnique, 47, rue de Vaugirard, Paris, 6^e.

COLUMBIA UNIVERSITY LIBRARY, à New-York (États-Unis).

COMBET (Candido), Prof^r au Lycée de Tunis, quartier Sans-Soucis (Tunisie).

COMMANAY, Professeur au Lycée Corneille, à Rouen (Seine-Inférieure).

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI, 54, boulevard Haussmann, Paris, 9^e.

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI, 94, rue de la Victoire, Paris, 9^e.

COMPAIN (l'abbé), Prof^r de sciences à l'École Fénelon, à Bar-le-Duc (Meuse).

CONTI (James-Tiburce-Félix), Ingénieur civil, 8, quai d'Orléans, Paris, 4^e.

CONTINI (Attilio), Prof^r de Physique, R. Istituto tecnico di Messina (Italie).

COOKE (E.-L.), Professor of Physics Princeton University, Princeton, New-Jersey (États-Unis).

COOPER (W.-R.), Honorary Secretary Physical Society of London, Member of Institution Electrical Engineers, 82, Victoria St. Westminster, Londres (Angleterre).

COPPET (de), villa de Coppet, rue Magnan, à Nice (Alpes-Maritimes).

CORNAILLE (Édouard-Félicien), Professeur au Collège, 1, rue des Écoles, à Arras (Pas-de-Calais).

CORVISY (A.), Professeur au Lycée, 6, rue St-Benoît, à Limoges (Haute-Vienne).

CORVISY (Didier), Étudiant en Médecine, 6, rue Saint-Benoît, à Limoges (Haute-Vienne).

COSSERAT (Eugène-Maurice-Pierre), Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Toulouse (Haute-Garonne).

COSSERAT (François), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 36, avenue de l'Observatoire, Paris, 14^e.

MM.

COSTA (Dr), Professeur à la Faculté de Médecine, calle Vitoria, 1095, Buenos-Ayres (République Argentine).

COTTON (A.), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 52, boulevard Saint-Jacques, Paris, 14^e.

COUDERT (A.), Prof. au Lycée Condorcet, 33 bis, rue de Mancos, Paris, 8^e.

COUDRY (Eugène), Professeur au Lycée, 37, rue Ernest-Renan, à Besançon (Doubs).

COUETTE (Maurice), Docteur ès sciences, Professeur de Physique aux Facultés catholiques, 26, rue de la Fontaine, à Angers (Maine-et-Loire).

COURQUIN (l'abbé), Professeur à l'École industrielle, 70, rue du Casino, à Tournai (Nord).

COURTOIS (l'abbé F.), Missionnaire, Église St-Joseph, à Chang-Hai (Chine).

CRÉMIEU (Victor), Docteur ès sciences, Préparateur à la Faculté des Sciences, aux Ombrics, par Le Poujol (Hérault).

CROIX (Victor), Professeur au Collège communal, 30, Faubourg de Tournai, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROSS (Charles-Robert), Professor of Physics, Massachusetts Institute of Technology, Boston, Mass. (États-Unis).

CUCHE (Julien), Dr en Médecine, 2, rue Gambetta, à Meulan (Seine-et-Oise).

CULMANN (Paul), Docteur ès sciences, Collaborateur scientifique de la maison Zeiss, 28, rue Vanquelin, Paris, 5^e.

CURCHOD (A.), Ingénieur de la Société industrielle des Téléphones, 74, rue Butzaris, Paris, 19^e.

CURIE (M^{me} SKŁODOWSKA), Professeur de Physique générale à la Faculté des Sciences, 6, rue du Chemin-de-Fer, à Sceaux (Seine).

DANIEL, Professeur au Collège Stanislas, 3, square du Croisic, Paris, 15^e.

DANIEN (B.-C.), Doyen de la Faculté des Sciences, 74, rue Brille-Maison, Lille (Nord).

DANIEL (Jacques), Ingénieur, Directeur spécial de l'Université, 1, rue de la Prévôté, à Bruxelles (Belgique).

DANNE (Jacques), Préparateur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce, Paris, 5^e.

DANYEL, 25, boulevard Port-Royal, Paris, 13^e.

DARMON, Professeur au Prytanée militaire de La Flèche (Sarthe).

DARZENS, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, av. Ledru-Rollin, Paris, 12^e.

DAUVÉ (Camille-Albert), Professeur de Physique au Collège Monge, à Beaune (Côte-d'Or).

DAULÈRE (Jean-Camille), Professeur au Lycée, rue de Rome, à Agen (Lot-et-Garonne).

DAY (Arthur-L.), Ph. Dr, Director geophysical Laboratory Carnegie Institution of Washington, 1330 F Street, Washington D. C. (États-Unis).

DEBIERNE, Chef de Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, 21, quai de la Tournelle, Paris, 5^e.

MM.

- DECHEVRENS** (le R. P. Marc), S. J., ancien Directeur de l'Observatoire Zi-Ka-Wei (Chine), à Saint-Méier, observatoire Saint-Louis (île Jersey).
- DÉCOMBE** (Louis), D^r ès sciences, Sous-Direct^r du Laboratoire de Physique (Enseignement) de la Faculté des Sciences, 15, rue Cassa, Paris, 14^e.
- DEDET** (François), Prof^r honoraire de Physique, à Albi (Tarn).
- DEFFORGES** (le Général G.), commandant la 78^e Brigade, villa Saint-Michel, à Toul (Meurthe-et-Moselle).
- DEFOIX** (D^r), 8a, rue Vaneau, Paris, 7^e.
- DELAUNAY** (Nicolas), Professeur de Mécanique à l'Institut Polytechnique de l'Empereur Alexandre M, à Kief (Russie).
- DELEBECQUE**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 36, boulevard des Tranchées, à Genève (Suisse).
- DELEMER** (Jules-Jean-Baptiste), Docteur ès sciences, Professeur aux Facultés catholiques, 24, rue de Voltaire, à Lille (Nord).
- DELÉTOILLE**, Industriel, 14, rue du Marché-au-Filet, à Arras (Pas-de-Calais).
- DELPOLIE** (M^{re} L.), Prof^{esse} au Lycée de jeunes filles de Besançon (Doubs).
- DEL LUNGO** (Carlo), Professeur de Physique R. Liceo de Spezia (Italie).
- DELPESCH**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur aux Chemins de fer de l'Est, 53, rue de Maubeuge, Paris, 9^e.
- DELSOL** (Étienne), Ingénieur civil, ancien Élève de l'École Polytechnique, 4, rue de Berne, Paris.
- DELVALEX** (G.), Prof^{esseur} au Lycée Condorcet, 16, avenue Ledru-Rollin, Paris, 12^e.
- DEMERLIAC** (R.), Professeur à l'École de Médecine, 3 bis, rue aux Juifs, à Caca (Calvados).
- DEMICHÉL** (A.), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 38, rue de Sévigné, Paris, 4^e.
- DENIZOT** (Alfred), D^r Ph., à l'École Polytechnique, à Leopold (Autriche).
- DEPREZ** (Marcel), Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 23, avenue Marigny, à Vincennes (Seine).
- DERO** (Louis-Émile-Léonce), Ingénieur civil, 101, rue Tourneville, Le Havre (Seine-Inférieure).
- DERVIEUX** (Albert), Professeur au Collège, rue Notre-Dame, à Sézanne (Marne).
- DEUCHAMPS** (D^r Eugène), 22, rue de la Monnaie, à Rennes (Ille-et-Vilaine).
- DESCOLES**, Professeur au Lycée de Nice (Alpes-Maritimes).
- DESCOMBES** (Léon), Professeur au Lycée de Bourg (Ain).
- DESLANDRES** (H.), Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique de Meudon, 39, avenue du Château, à Bellevue (Seine-et-Oise), et 21, rue de Téhéran, Paris.
- DESLES**, Imprimeur, 6, rue Gambetta, à Tours (Indre-et-Loire).
- DESPAUX** (Arsène-Joseph), Ingénieur des Arts et Manufactures, Inspecteur divisionnaire du travail, 25, cours Dugéaud, à Limoges (Haute-Vienne).
- DESPILANS** (Maurice), Professeur au Collège de Carpentras (Vaucluse).
- DESQUARTIERS** (Adolphe), Ingénieur, 143, rue de Saint-Quentin, à Caudry (Nord).

MM.

- DESROZIERS**, Ingénieur civil des Mines, 10, avenue Frochot, Paris, 9^e.
DESSAU (Bernard), Professeur de Physique à l'Université de Pérouse (Italie).
DETAILLE (Charles), Professeur au Lycée, 81, rue du Gouédic, à Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord).
DEVAUD, Professeur au Lycée, 68, rue Sénac, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
DEVAUX (Henri), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).
DEVAUX-CHARBONNEL, Ingénieur des Télégraphes, 286, boulevard Raspail, Paris, 14^e.
DICKSTEIN (S.), rue Marszalkowska, 117, à Varsovie (Russie).
DIENERT (Frédéric), Dr ès sciences physiques, Chef du Service de surveillance des Eaux d'alimentation, 8, place de la Mairie, à Saint-Mandé (Seine).
DINI (Urbain), 95, route de Saint-Leu, à Deuil, par Enghien (Seine-et-Oise).
DININ (Alfred), Ingénieur des Arts et Manufactures, 2, quai National, à Puteaux (Seine).
DIOMARD, Professeur au Lycée d'Auch (Gers).
DIOT, Professeur au Lycée Condorcet, 19, rue Nollet, Paris, 17^e.
DITISHEIM (Paul), Fabricant de chronomètres, Parc, 9 bis, à la Chaux-de-Fonds (Suisse).
DIXSAUT (Léon-Eugène), Professeur au Lycée, 139, rue des Capucins, à Reims (Marne).
DOIGNON (L.), Ingénieur-Constructeur, successeur de Dumoulin-Froment, 11, rue Hoche, à Malakoff (Seine).
DOLTER (Henri), Ingénieur, 50, rue Saint-Ferdinand, Paris, 17^e.
DOMAGE (Henry-Louis-Achille), Ingénieur civil des Mines, Directeur de la Société nouvelle de Charbonnages des Bouches-du-Rhône, 4, rue de la Turbine, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
DOMANGE (Pierre), Ingénieur agricole, 60, rue de Monceau, Paris, 8^e.
DOMERGUE (E.), Résident à Haiphong (Tonkin).
DOMMER, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 12, rue Poisson, Paris, 17^e.
DONGIER (Raphaël), Docteur ès sciences, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 99, Grande Rue, à Bourg-la-Reine (Seine).
DORGEOT (Gabriel), Chef d'escadron, Sous-Directeur de l'Artillerie, à Bastia (Corse).
DORSEY (Noah-Ernest), Ph. Dr, Assistant Physicist Bureau of Standards, Washington, D. C. (États-Unis).
DOUMER (Dr), Professeur à la Faculté de Médecine de Lille (Nord).
DOURIF (Henry), 38, rue de Varenne, Paris, 7^e.
DRAULT, Constructeur électricien, 57, boulevard du Montparnasse, Paris, 6^e.
DRINCOURT, Professeur au Collège Rollin, 10, place Breda, Paris, 9^e.

MM.

- DREYFUSS (E.)**, Professeur au Lycée de Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- DROUIN (Félix)**, Ingénieur, 1 bis, avenue de Longchamp, à Boulogne-sur-Seine (Seine).
- DRYSDALE (Charles-Vickery)**, D^r ès sciences, London, M. Z. E. E., Northampton Institute, Clerkenwell, London, E. C. (Angleterre).
- DUBOIS (M^{lle} Hélène)**, Professeur au Lycée de jeunes filles Victor-Hugo, 100, avenue des Ternes, Paris, 17^e.
- DUBOIS (René)**, Professeur à l'École Turgot, 23, rue des Fossés-Saint-Jacques, Paris, 5^e.
- DUCESCU (Constantin)**, Administrateur de 1^{re} classe, Sous-Chef de division aux Chemins de fer roumains, à Buzeu (Roumanie).
- DUCHANGE (Maurice)**, ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur à la C^{ie} des Mines de Béthune, 16, rue de la République, à Amiens (Somme).
- DUCHAUSOY (Joseph-Herménégilde)**, Professeur au Lycée, 2, rue Cosette, à Amiens (Somme).
- DUCHEMIN**, Ingénieur, 37, boulevard de la Tour-Maubourg, Paris, 7^e.
- DUCHESNE-FOURNET**, ancien Élève de l'École Normale supérieure, Klossbach Strasse, 77, à Zurich (Suisse), et 204, rue de Rivoli, Paris.
- DUCLAUX (Jacques)**, Docteur ès sciences, Préparateur à l'Institut Pasteur, rue Dutot, Paris, 15^e.
- DUCLOS**, ancien Directeur d'École normale, à Cerisols, par Fabas (Ariège).
- DUCOMET**, Ingénieur, 7 et 9, rue d'Abbeville, Paris, 10^e.
- DUCRET (Pierre)**, Ingénieur, 47, rue Alexandre III, à Dunkerque (Nord).
- DUCRETET (E.)**, Constructeur d'instruments de Physique, 123, rue de Rennes, Paris, 6^e.
- DUCRETET (Fernand)**, Constructeur d'instruments de précision pour les Sciences et l'Industrie, 75, rue Claude-Bernard, Paris, 5^e.
- DUDELL (W.)**, Ingénieur, 47, Hans Place, Londres S. W. (Angleterre).
- DUFFOUR**, Professeur agrégé au Lycée de Bordeaux (Gironde).
- DUFOUR (Henri)**, Prof^r de Physique à l'Université, avenue de Rumines, Lausanne (Suisse).
- DUFOUR (A.)**, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 45, rue d'Ulm, Paris, 5^e.
- DUFOUR (D^r Marcel)**, Agrégé de l'Université, ancien Assistant à la Clinique des Quinze-Vingts, 18, rue Saint-Dizier, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- DUGAS (Engène-Georges-Joseph)**, Professeur au Lycée, 68, rue Nationale, à Pontivy (Morbihan).
- DUHEM (P.)**, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 18, rue de la Teste, à Bordeaux (Gironde).
- DUJARDIN (P.-J.-R.)**, Héliographe, 28, rue Vavin, Paris, 6^e.
- DUMOULIN-FROMENT**, ancien Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 9^e.
- DUNCAN (Louis)**, Ph. D^r John Hopkins University, Electrical Engineer, Member Math. Soc., 56, Pire S. G., New-York (États-Unis).
- DUNOYER**, Agrégé, Préparateur de Physique au Collège de France, 34, rue de Satory, Versailles (Seine-et-Oise).

MM.

DUPEYRAC (Dr Gustave), Chef de Service d'Électrothérapie à l'Hôtel-Dieu, 64, rue Sylvabelle, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

DUPLAA (P.-J.), Professeur au Collège de Pamiers (Ariège).

DUPESAN (M^{lle} Madeleine), Directrice du Collège de jeunes filles de Morlaix (Finistère).

DUPLAND (M^{lle} Clémence), Professeur à l'École normale d'Institutrices de Privas (Ardèche).

DUPONT (Charles), Électricien, à Saint-Mihiel (Meuse).

DURAND (Dr Ernest), Médecin adjoint à l'Institut municipal d'Électrothérapie de la Salpêtrière, 15, rue des Beaux-Arts, Paris, 6^e.

DURAND, Professeur au Lycée, rue Esplanade, à Mostaganem (Algérie).

DURAND (E.), Professeur de Sciences à l'École supérieure du Commerce, villa des Grottes, 56, à Genève (Suisse).

DUSSAUD, Ingénieur-Conseil, Docteur ès sciences, 14, rue Danet, à Genève (Suisse), et 19, rue Guillaume-Tell, Paris, 17^e.

DUSSY, Professeur au Lycée, 46, rue Saint-Lazare, à Dijon (Côte-d'Or).

DUTOIT (Dr Constant), Docteur ès sciences, Professeur, 3, avenue de Georgette, à Lausanne (Suisse).

DVORAK (Dr Vincent), Prof. à l'Université d'Agram (Autriche-Hongrie).

DYBOWSKI (A.), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg, Paris, 12^e.

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE D'ENSEIGNEMENT PRIMAIRE (Le Directeur de l'), à Saint-Cloud (Seine-et-Oise).

ÉCOLE SAINT-LOUIS (Le Directeur de l'), quai de Lodoz, à Liège (Belgique).

EDELBERG (Alexandre), Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).

EGINITIS (Basile), Professeur à l'École des Evelpides, à Athènes (Grèce).

ÉGOROFF (Nicolas), Sous-Directeur de la Chambre centrale des Poids et Mesures, 19, Zabalkansky, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ÉGOROFF (Serge), Directeur de l'École commerciale de Tomsk (Russie).

EIFFEL (Gustave), Ingénieur, 4, rue Rabelais, Paris, 8^e.

EINSTEIN (Albert), Dr ès sciences, Expert physicien du Bureau Fédéral de la Propriété industrielle, Aegertenstrasse, 53, à Berne (Suisse).

ÉLIE (B.), 90, rue de la Pointe, à Abbeville (Somme).

ÉMERY (Isidore-Eugène), Capitaine d'Artillerie, Membre de la Commission d'expériences de Bourges, 102, rue des Crosses, à Bourges (Cher).

ENGEL, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, à Châtillon-sur-Bagneux (Seine).

ÉÖTVÖS (Baron Roland), Professeur à l'Université, 3, Esterhazy utca, à Budapest (Hongrie).

ESCOFFIER (Honoré), Professeur au Collège, 9, rue Guillaumont, à Antibes (Alpes-Maritimes).

ESNAULT-PELTERIE (Robert), Licencié ès sciences, 36, rue des Abondances, à Boulogne-sur-Seine (Seine).

MM.

ETIENNE (Louis), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et de la Compagnie P.-L.-M., 4, rue Bara, Paris, 6^e.

EVERDINGEN (E. van), Dr ès sciences, Directeur en chef de l'Institut météorologique royal des Pays-Bas, à Bilt (Hollande).

EWERS (Paul), Dr Phil., Privat-docent à Stolberg ¹/Harz (Allemagne).

FABRY (Charles), Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue Chapier, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

FAILLON (Nicolas-Jules), Professeur au Collège de Châtelleraux (Vienne).

FAILLOT, Professeur au Lycée de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

FAIVRE-DUPAIGRE (Jules), Inspecteur général de l'Instruction publique, 9, rue du Val-de-Grâce, Paris, 5^e.

FARCOT (Emmanuel-François-Michel, fils), Ingénieur-Constructeur, 4, avenue de Soisy, à Saint-Gratien (Seine-et-Oise).

FARGE (Émile), Professeur au Lycée de Cahors (Lot).

PARIA (O. de), Ingénieur, 10, rue Théodule-Ribot, Paris, 17^e.

FARMAN (Maurice), Observatoire de Chevreuse, à Jagny, par Dampierre (Seine-et-Oise).

FAUCON (Antonin-Marius), Chef des Travaux pratiques de Physique à l'École supérieure de Pharmacie, 17, boulevard de l'Esplanade, à Montpellier (Hérault).

FAURE (Henri), Ingénieur de la Marine, à Bizerte (Tunisie).

FAVÉ, Ingénieur hydrographe en chef de la Marine, 1, rue de Lille. Paris, 7^e.

FAVARGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FÉLIX (Venceslas), Phil. Dr, Professeur agrégé à l'École Polytechnique tchèque de Prague, Karlovenaur, 14, à Prague (Autriche).

FERNERT (l'abbé Florent), Professeur, 81, rue Donfert-Rochereau, à Lille (Nord).

FERRA (G.-J.), Directeur de l'Observatoire central de l'Indo-Chine, à Phu-Lien (Tonkin).

FERREIRA DA SILVA, Professeur à l'École Polytechnique, 41, rua do Lavajal, à Porto (Portugal).

FERRIÉ (G.), Commandant du Génie, au Dépôt central de la Télégraphie militaire, 51, boulevard Latour-Maubourg, Paris, 7^e.

FERRY (l'abbé), Licencié ès sciences mathématiques et physiques, Professeur à l'Institution de La Malgrange, à La Malgrange, par Nancy (Meurthe-et-M^{se}).

FERRY (Ervin-S.), Purdue University, Lafayette, Indiana (États-Unis).

PERY (Charles), Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la ville de Paris, 42, rue Lhomond, Paris, 5^e.

PESQUET, Professeur au Collège, 1, rue Emmery, à Dunkerque (Nord).

FIGUIREDO (Henrique de), Professeur de Physique mathématique à l'Université, Le Velha, 32, à Coïmbre (Portugal).

FISCHER (Albert-Louis), Associate Physics Bureau of Standards, Washington, D. C. (États-Unis).

FLORENTIN (Gabriel), Ingénieur aux forges et aciéries da Donetz, à Drouj-kowka, gouv^t d'Ekaterinoslaw (Russie).

MM.

FONSECA BENEVIDES (Francisco da), Directeur de l'Institut industriel et commercial de Lisbonne (Portugal).

FONTAINE (Eugène), ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur des Mines, 27, rue Tronchet, Paris, 8°.

FONTAINE (Georges), Chimiste, 18, rue Monsieur-le-Prince, Paris, 6°.

FONTAINE (Hippolyte), Ingénieur électricien, 58, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 6°.

FONTAINES (Ernest de), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Morvillars (Haut-Rhin français).

FONTANEAU (Étienne-Jean-Éléonor), ancien Officier de Marine, 8, cours Bugeaud, à Limoges (Haute-Vienne).

FOREST-PALMER (Albert de), Ph. D^r, Associate Professor of Physics, Brown University, Providence, Rhode Island (États-Unis).

FORTIN (Charles), 59, rue Claude-Bernard, Paris, 5°.

FORTIN (Jules), Ingénieur, Directeur de l'Exploitation du gaz, 185, boulevard de Cauderán, à Bordeaux (Gironde).

FOUARD, Ingénieur des Arts et Manufactures, Licencié ès sciences, attaché à l'Institut Pasteur, 71, rue de la Procession, Paris, 15°.

FOUCHÉ (Ed.), Ingénieur, 19, avenue de Clichy, Paris, 17°.

FOURNEL, Professeur à l'École pratique d'Industrie, 8, rue Croix-de-Regnier, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

FOURNIER, Ingénieur-Constructeur, 107, avenue Parmentier, Paris, 10°.

FOUSSEREAU D^r ès sciences, 50, boulevard de Port-Royal, Paris, 5°.

FOVEAU DE COURMELLES (le D^r), 26, rue de Châteaudun, Paris, 9°.

FRANCHIMONT (Antoine-Paul-Nicolas), Professeur de Chimie organique à l'Université de Leide, Rapenburg, 104, à Leide (Pays-Bas).

FRANKLIN (J.-Meyer), Professeur of Physics State College, Pennsylvania, Pa (États-Unis).

FREDET (Henri), Industriel, à Brignoud (Isère).

FRÉMOND SAINT-CHAFFRAY (M^{me} B.), 54, rue de Seine, Paris, 6°.

FRIC (René), Ingénieur aux Établissements Bergongan, 18, rue d'Aubière, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

FRICKER (Georges), Licencié en droit, 36, avenue de Ceinture, à Enghien (Seine-et-Oise).

FRIDERICH (Louis), D^r ès sciences, à Notre-Dame-de-Briançon (Savoie).

FRITSCH (Carl), D^r Ph., Privat-docent an der technischen Hochschule Darmstadt, Soderstrasse, 110, à Darmstadt (Allemagne).

PROC (le R. P.), à l'observatoire de Zi-Ka-Wei, près Chang-Haï (Chine).

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 19, rue de Sèvres, Paris, 6°.

FRUTIGER (Georges), D^r ès sciences, Prof^r, 4, rue de Hesse, à Genève (Suisse).

GAGNIÈRE (Jean), Industriel, produits pharmaceutiques, 6, rue Ballainvilliers, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

MM.

- GAIFFE (Georges)**, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts, Paris, 6^e.
- GAILLARD (Gaston)**, 24 bis, avenue du Trocadéro, Paris, 16^e.
- GAILLIARD (Jules)**, Prof^r au Collège Stanislas, 134, rue de Rennes, Paris, 14^e.
- GAL**, 103, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 6^e.
- GALIMARD**, Industriel, à l'abbaye de Flavigny (Côte-d'Or).
- GALITZINE (Prince Boris)**, Membre de l'Académie impériale des Sciences, Fontanka, 144, à Saint-Petersbourg (Russie).
- GALL (Henri)**, Directeur de la Société d'Électrochimie, 5, rue Albert-Joly, à Versailles (Seine-et-Oise).
- GALLERANI (Giovanni)**, D^r en Médecine et Chirurgie, Professeur de Physique et de Physiologie à l'Université de Camerino (Italie).
- GALLIE (Louis)**, Professeur au Collège, Grande Rue, à Mortain (Manche).
- GALLOTTI**, Professeur au Lycée, 20, place du Martroi, à Orléans (Loiret).
- GALY**, Professeur au Lycée de Brest (Finistère).
- GAND (Roger de)**, 2, impasse Bagatelle, à Caen (Calvados).
- GARBE**, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers (Vienne).
- GARCELON (Henri)**, 5, rue Vital, Paris.
- GARDET (Alfred)**, Censeur du Lycée de Lyon (Rhône).
- GARGAM DE MONCETZ (Albert)**, 8, square Latour-Maubourg, Paris, 7^e.
- GARIEL (G.-M.)**, Insp^r général des Ponts et Chaussées, Membre de l'Académie de Médecine, Prof^r à la Faculté de Médecine, 6, r. Édouard-Detaille, Paris, 17^e.
- GARNIER (Charles)**, Assistant au Laboratoire de Physique de l'Université de Fribourg (Suisse).
- GARZON Y CARMONA (Aureli)**, D^r ès sciences physiques, plaza de Alonso-Martinez, 6, 3^o dra, à Madrid (Espagne).
- GASCARD (Albert)**, Professeur à l'École de Médecine et de Pharmacie, 76, boulevard Beauvoisine, à Rouen (Seine-Inférieure).
- GATES (M^{lle} Fanny-Cook)**, Associate Professor of Physics the Woman's College, à Baltimore, Maryland (États-Unis).
- GAULTIER (G.)**, Ingénieur, 14, rue Dumont-d'Urville, Paris, 16^e.
- GAUMONT**, Directeur du Comptoir général de Photographie, 57, rue Saint-Roch, Paris, 1^{er}.
- GAUTHIER (Paul)**, Professeur au Lycée de Besançon (Doubs).
- GAUTHIER-VILLARS (Albert)**, Imprimeur-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins, Paris, 6^e.
- GAUTIER (P.)**, Constructeur d'instruments de précision, Membre du Bureau des Longitudes, 56, boulevard Arago, Paris, 13^e.
- GAY (Jules)**, Docteur ès sciences, Examineur honoraire à l'École militaire de Saint-Cyr, 17, rue de Beauveau, à Versailles (Seine-et-Oise).
- GAYON**, Correspondant de l'Institut, Prof^r à la Faculté des Sciences, Dir^r de la Station agronomique, 7, rue Duffour-Dubergier, à Bordeaux (Gironde).
- GEHRKE (Ernst)**, D^r Phil., Privat dozent a. d. Universität, Technischen Hilfsarbeiter a. d. Physikalische Technischen Reichsanstalt, Hornstrasse, 13, Berlin N. 53 (Allemagne).

MM.

- GETTLER** (Dr Josef-Ritter von), Professeur Physikalisches Institut der Universität Czernowitz (Autriche).
- GENDRON** (Rodelphe), Préparateur de Physique à l'Institut catholique, 6, rue Cassendi, Paris, 14^e.
- GEORGIEWSKI** (Nicolas), Institut technologique, à Saint-Petersbourg (Russie).
- GERARD** (Eric), Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut Electro-technique de Montefiore, 35, rue Saint-Gilles, à Liège (Belgique).
- GERNEZ** (Désiré), Membre de l'Institut, Maître de Conférences honoraire de l'École Normale supérieure, 80, rue d'Assas, Paris, 6^e.
- GERSCHUN** (Alexandre), Laboratoire de Physique de l'École d'Artillerie pour les Officiers de Marine, à Cronstadt (Russie).
- GESCHÉ** (Louis), Chargé de Cours à l'Université de l'État, 20, rue d'Egmont, à Gand (Belgique).
- GEVRY** (Maurice-Edouard-Joseph), F. R. A. S., F. P. S., Cairo House, 16, Balcaskie Road, Eltham, Kent, Londres (Angleterre).
- GHESQUIER** (l'abbé), Directeur de l'École des Hautes Études industrielles, 13, rue de Toul, à Lille (Nord).
- GHIRELLI** (Nob. Dott. Giulio), Piazza S. S. Pietro e Line 4, via Moravigh, Milano (Italia).
- GIBERT** (Eugène-Louis-Marie), Chef d'escadron d'Artillerie coloniale, à Crécy-en-Brie (Seine-et-Marne).
- GIBERT**, Professeur de Physique à l'École Colbert, 146, boulevard Magenta, Paris, 10^e.
- GILBERT** (Norman-G.), Ph. Dr, Professor of Physics Dartmouth College, Hanover, New-Hampshire (États-Unis).
- GIRAN** (Henri), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 29, rue de Metz, à Toulouse (Haute-Garonne).
- GIRARD** (Charles), Directeur du Laboratoire municipal, 2, rue de la Cité, Paris, 4^e.
- GIRARDET**, Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis, 90, rue Claude-Bernard, Paris, 5^e.
- GIRARDET** (Fernand), Professeur agrégé à l'École supérieure de Pharmacie, 6, rue de la Côte-d'Or (Les Lilas), à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- GIRARDIN** (l'abbé Maurice), Professeur de Physique, 124, rue de la Station, à Mouscron (Belgique).
- GIRAULT**, Directeur de l'École municipale Lavoisier, 19, rue Denfert-Rochereau, Paris, 5^e.
- GIVERT** (Arthur), Prof au Lycée, 10, rue de la Marine, à Caen (Calvados).
- GOCKEL** (Albert), Dr Phil., Professeur à l'Université, Miséricorde, 7, à Fribourg (Suisse).
- GODART** (Léon), Docteur ès sciences, Professeur au Lycée Saint-Louis, 28, rue Gay-Lussac, Paris, 5^e.
- GODEFROY** (R.-E.), Professeur à l'École normale d'instituteurs de la Seine, 10, rue Molitor, Paris, 16^e.

MM.

GODRON (Henri), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 73, rue Crevier, à Rouen (Seine-Inférieure).

GOPY (G.), Directeur de service au Ministère des Chemins de fer, Postes et Télégraphes, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOETTER (Albert), Ingénieur, à Noyelles-Gondault (Pas-de-Calais).

GOISOT (George), Ingénieur, 10, rue Bédier, Paris, 17^e.

GOLDHAMMER (Démétrius), Professeur de Physique à l'Université de Kasan (Russie).

GOLDSCHMIDT (Robert), Docteur ès sciences chimiques, 54, avenue des Arts, à Bruxelles (Belgique).

GOLOUBITZKI (Paul), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GOODSPEED (Arthur-Millis), A. B., Ph. D., Professor of Physics, Laboratory of Physics University of Pennsylvania, W. Philadelphia, Pennsylvania (États-Unis).

GORSSE, Professeur au Collège-Rollin, 19, rue Nollet, Paris, 17^e.

GORTON (Dr Frederick-R.), Dr à Ypsilanti, Michigan (États-Unis).

GOSSARD (Émile), Professeur à la Faculté des Sciences, 68, rue Eugène-Ténot, à Bordeaux (Gironde).

GOSSE, Ingénieur des Arts et Manufactures, attaché à la maison Poulenc, 7, rue de la Cerisaie, Paris, 4^e.

GOSSE-FABIN (M^{me}), 92, rue Chauzy, à Rochefort (Charente-Inférieure).

GOUGOT (Jean-Antoine), Professeur de Sciences à l'École normale d'Instituteurs, 38, cours du Temple, à Privas (Ardèche).

GOUPIL (Ém.), Ing. des Arts et Manufactures, à La Praz, par Modane (Savoie).

GOURÉ DE VILLEMONTÉE (Gustave), Docteur ès sciences, professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy, Paris, 5^e.

GOURGUECHON (Georges), Ingénieur au corps des Mines, 49, rue Claude-Lorrain, Paris, 16^e.

GOUY (G.), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon (Rhône).

GRADENWITZ (Alfred), Docteur ès sciences, 25, Könerstrasse, Berlin W. 35 (Allemagne).

GRAETZ (Léo de), Dr Phil., Professeur à l'Université, Arcisstrasse, 8, à Munich (Bavière).

GRANMONT (Arnaud de), Dr ès sciences physiques, 179, rue de l'Université, Paris, 7^e.

GRANQVIST (Per-Gustav-David), Professeur à l'Université d'Upsal (Suède).

GRASSI (Francesco), Professeur d'Électrotechnique à la Société d'Incoraggiamento d'Arti e Mestieri, 2 via Rossi, à Milan (Italie).

GRASSOT (Émile), Ingénieur à la Compagnie des Compteurs et Matériel d'usines à gaz, 48, rue de Vaugirard, Paris, 15^e.

GRATZMULLER, Ing^r de la C^e Thomson-Houston, 21, rue Théophile-Gantier, Paris, 16^e.

GRAU (Félix), Professeur au Lycée de Reims.

MM.

- GRAVET DE LA BUFFIÈRE (Joseph)**, Capitaine adjudant-major au 37^e régiment d'Artillerie, 18 *bis*, boulevard de l'Arsenal, à Bourges (Cher).
- GRAY (Robert-Kaye)**, Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-Percha and Telegraph Works Co, Silbertown, Essex, à Londres (Angleterre).
- GREENSTREET (William-John)**, M. A., F. R. A. S. Headmaster Marling School, Stroud, Glos. (Angleterre).
- GREFFE (E.)**, Professeur au Lycée Henri IV, 2, rue Leneveux, Paris, 5^e.
- GRÉHANT (Dr)**, Professeur de Physiologie générale au Muséum, 90, cours de Vincennes, Paris, 12^e.
- GRENET (Louis)**, Ingénieur civil des Mines, 27, rue de Cormeilles, à Argenteuil (Seine-et-Oise).
- GREYSON DE SCHOLDT**, Ingénieur, 15, avenue Prince-Albert, à Namur (Belgique).
- GRIMALDI (Giovann Petro)**, Dr ès sciences physiques, Dir^r du Laboratoire et Professeur de Physique à l'Université Royale, 25, via Androne, Catania, Sicile (Italie).
- GRIPON**, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 12, rue du Mont-Thabor, à Rennes (Ille-et-Vilaine).
- GRIVOLAS (Claude)**, Ingénieur civil, Administrateur délégué de la Compagnie française d'Appareillage électrique, 16, rue Montgolfier, Paris, 3^e.
- GROGNOT (L.)**, Ingénieur chimiste, 18, rue Labat, Paris, 18^e.
- GROOT (le P. L.-Th. de)**, Canisius College, Nymegen (Hollande).
- GROSSELIN**, Ingénieur civil des Mines, 20, rue Godot-de-Mauroy, Paris, 9^e.
- GROSSETESTE (William)**, Ingénieur civil, 5, rue Amiral-Courbet, Paris, 16^e.
- GROUSINZEFF (Alexis)**, Professeur de Physique à l'Université de Charkoff (Russie).
- GROUVELLE**, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire, Paris, 6^e.
- GRUMBACH (Albert)**, Agrégé de l'Université, 9, rue du Val-de-Grâce, Paris, 5^e.
- GRUNER (Paul)**, Professeur de Physique à l'Université Lindenrain, 3, à Berne (Suisse).
- GUCCIA (G.-B.)**, Professeur de Géométrie supérieure à l'Université de Palerme, Directeur des *Rendiconti del Circolo matematico di Palermo*, 30, via Ruggiero Settimo, à Palerme (Italie).
- GUÉBHARD (Dr Adrien)**, Agrégé des Facultés de Médecine, 4, rue de l'Abbé-de-l'Épée, Paris, 5^e.
- GUERBY**, Professeur au Lycée, 18, rue Sommeillère, à Annecy (Haute-Savoie).
- GUÉRIN (Georges)**, Docteur en Médecine, Licencié ès sciences, 70, avenue Kléber, Paris, 16^e.
- GUÉROULT (Georges)**, ancien Inspecteur des finances, Trésorier-Payeur général honoraire, 7, square Alboni, Paris, 16^e.
- GUERPILLON (A.)**, Professeur au Lycée Ampère, à Lyon (Rhône).
- GUGLIELMO (Giovanni)**, Professeur de Physique à l'Université Royale, Cagliari (Italie).

MM.

GUILLAUME (Ch.-Ed.), Docteur ès sciences, Directeur adjoint du Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

GUILLAUME (Edouard), Expert physicien au Bureau fédéral de la Propriété industrielle, 19, Gryphenhübeliweg, à Berne (Suisse).

GUILLEMINOT, Docteur en Médecine, 13, chaussée de la Muette, Paris, 16^e.

GUILLEMONAT, D^r en Médecine, 18, avenue de l'Opéra, Paris, 1^{er}.

GUILLET, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 158, rue St-Jacques, Paris, 5^e.

GUILLET (Léon), Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 8, avenue des Ternes, Paris, 17^e.

GULLIN (Louis), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Besançon (Doubs).

GUILLOZ (D^r Th.), Agrégé, Chef des Travaux du Laboratoire de Physique médicale à la Faculté de Médecine, 24, place de la Carrière, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUINARD (A.), Armurier, 8, avenue de l'Opéra, Paris, 1^{er}.

GUINCHANT (J.), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 166, rue Saint-Jean, à Caen (Calvados).

GUNTZ, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue Hermite, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUTTON (Camille), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 14, rue du Grand-Verger, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUYE (Ch.-Ed.), Docteur ès sciences, Professeur de Physique à l'Université, 41, route de Chêne, à Genève (Suisse).

GUYE (Philippe-A.), Docteur ès sciences, Professeur de Chimie à l'Université, 3, Chemin des Cottages, à Genève (Suisse).

GUYOT, Préparateur à l'École normale supérieure d'enseignement primaire, à Saint-Cloud (Seine-et-Oise).

HAAG, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées et à l'École Polytechnique, 11 bis, rue Chardin, Paris.

HAAS (Marc de), D^r Professeur de Physique à l'École Polytechnique de Delft (Hollande).

HABER (Fritz), D^r Ph. ordentel. Professor für Physikalische Chemie und Electrochemie technische Hochschule, Karlsruhe (Allemagne).

HADAMARD (Jacques), Professeur au Collège de France, 25, rue Humboldt, Paris, 14^e.

HAFIZ (Mohammed), Ingénieur, au Caire (Égypte).

HAGENBACH-BISCHOFF, Professeur à l'Université, 20, Missionstrasse, à Bâle (Suisse).

HAGENBACH (Auguste), Docteur Professeur, Missionstrasse, 18, à Bâle (Suisse).

HALE (George-E.), Directeur de l'Observatoire solaire, Mount Wilson, Pasadena, California (États-Unis).

HALLER (A.), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue Vauquelin, Paris, 5^e.

MM.

HAMILTON (George-A.), Ingénieur électricien, 532, Morris Av., Elizabeth, New-Jersey (États-Unis).

HAMY (Maurice), Membre de l'Institut, Astronome titulaire à l'Observatoire, 3, rue Humboldt, Paris, 14^e.

HANRIOT (Th.), ancien Secrétaire des Ardennes, Prof. honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, 6, rue Pichen, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

HARCHMAN (Pierre), Commis des Télégraphes belges et Chimiste, 34, rue Royale, à Tournai (Belgique).

HARET, Docteur en Médecine, 8, rue Pierre-Haret, Paris, 9^e.

HARKER (Dr John-Alan), The National Physical Laboratory, Toddington, Middlesex (Angleterre).

HASENÖHRL (Fritz), Dr Privat-dozent de Physique à l'Université, IX, Barzobogasse, 4, à Vienne (Autriche).

HAUDIÉ (Edgard), Professeur à l'École navale, 88 bis, rue de Paris, à Brest (Finistère).

HAUDIÉ (M^{me}), Professeur en congé, 88 bis, rue de Paris, à Brest (Finistère).

HEEN (Pierre de), Membre de l'Académie Royale, Directeur de l'Institut de Physique, 9, rue Momilphe, à Liège (Belgique).

HEER (Paul), Professeur de Physiologie, Institut Solvay (Panc Léopold), Bruxelles (Belgique).

HELLE (Alfred), Dr, Westendorfsstrasse, 24, à Magdebourg s/. (Allemagne).

HELLER (Richard-Ch.), Ingénieur, 48, cité Trévise, Paris, 9^e.

HEMERDINGUER (Ch.), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 7, rue de la Cerisaie, Paris, 4^e.

HEMPTINNE (Alexandre de), 56, rue de la Vallée, à Gand (Belgique).

HEMSALECH (G.-A.), au Laboratoire de Physique (Recherches), Faculté des Sciences, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.

HENRY (Aimé), Professeur au Lycée, 56, rue Clovis, à Reims (Marne).

HENRY (Alfred), Ingénieur de la Raffinerie A. Semancier et C^{ie}, 145, rue de Flandre, Paris.

HENRY (Édouard), Professeur de Physique au Lycée, 46, rue de Reims, à Rouen (Seine-Inférieure).

HENRY (Louis d'), Ingénieur chimiste et électricien, 6, boulevard de Port-Royal, Paris, 5^e.

HENRI (Victor), Préparateur de Physiologie à la Faculté des Sciences, 82, rue Claude-Bernard, Paris, 5^e.

HENRY (René), Ingénieur technique des Charbonnages du Hasard, 296, rue Mandeville, à Liège (Belgique).

HEPITES (Stefan), Directeur de l'Institut météorologique, 43, boulevard Collei, à Bucarest (Roumanie).

HERMANN (A.), Libraire-Éditeur, 8, rue de la Sorbonne, Paris, 5^e.

HERNANDEZ (Pedro), Professeur de l'Instruction primaire et secondaire, apartado 75, Morelia Michoacan, (Mexique).

MM.

HERRE (Charles-Alexandre), Professeur au Collège, 12, rue du Beffroi, à Soissons (Aisne).

HESSLIUS (H.), Professeur à l'Institut technologique de l'Empereur Nicolas I, à Saint-Petersbourg (Russie).

HILL (Bruce-W.), D^r Phil. (Berlin), Acting Professor of Physics, University of Kansas, Lawrence, Kansas (États-Unis).

HILLAIRET (André), Ingénieur des Arts et Manufactures, 22, rue Vicq-d'Azir, Paris, 10^e.

HOLLARD (Auguste), Chef du Laboratoire central des usines de la C^{ie} française des Métaux, 72, rue de la Gare, à Saint-Denis (Seine).

HONEN (Théodore), Professeur à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

HONDA (Kotaro), Flensburgerstr. 134, Berlin, N. W. (Allemagne).

HONEL (Stanko), D^r en Ph., Professeur au Gymnase, Professeur agrégé à l'Université, Raineroval ul, 17, à Agram (Hongrie).

HONORÉ, Collège Saint-Joseph, à Trichinopoly (Madras) (Indes Anglaises).

HORLOCH (Arthur-Hyld-Water), B. A. Oxford, Woolwich Polytechnic, à Woolwich (Angleterre).

HOSTEN, Chalet Saint-Memri, Chemin du Petit-Jass, à Cannes (Alpes-Marit.).

HOULLEVIGUE, Professeur à la Faculté des Sciences, 2, rue de l'Obélisque, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

HOWE (Henry M.), Professeur de Métallurgie, Mac Lean Road Bedford Station, New-York City (États-Unis).

HUBERT (Marcel), Inspecteur général des Mines, Professeur à l'Université, 68, rue Fabry, à Liège (Belgique).

HUDELO, Répétiteur à l'École centrale, 10, rue Saint-Louis-en-l'Île, Paris, 4^e.

HUET (Ernest), Docteur en Médecine, 21, rue Jacob, Paris, 6^e.

HUFF (William-B.), Professor of Physics Bryn Maw College, Bryn Maw, Pa (États-Unis).

HURIAU (Gaëtan), Ing^r, 40, route de Saint-Amand, à Valenciennes (Nord).

HURSON, Professeur à la Faculté des Sciences, boulevard de Brosses, à Dijon (Côte-d'Or).

HURDULESCU (Dragomir), Docteur ès sciences, Professeur à la Faculté des Sciences de Jassy (Roumanie).

HUSON (Léon), 3, square du Croisic, à Paris, 13^e.

HUTIN (Maurice), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 73, rue de Maubeuge, Paris, 9^e.

HUY (M^{lle}), Répétitrice à l'École normale d'enseignement primaire, à Fontenay-aux-Roses (Seine).

ICOLE (Léon), Prof^r au Lycée, 27, rue Saint-Hérem, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

IMBAULT (G.), Proviseur du Lycée de Laon (Aisne).

IMBER, ancien Directeur des études à l'École centrale des Arts et Manufactures, Membre du Conseil de perfectionnement, 2, place Voltaire, Paris, 11^e.

MM.

IMBERT (Armand), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier (Hérault).

INDRIKSON (Théodore), Assistant à l'Institut de Physique de l'Université impériale, à Saint-Petersbourg (Russie).

INFREVILLE (Georges d'), ex-Électricien de la *Western Union Telegraph Co.* Expert de la *National Bell Telephone Co*, 110, Liberty street, à New-York (États-Unis).

INFROIT (Charles), Directeur du Laboratoire central de radiographie de la Salpêtrière, 167, boulevard Saint-Germain, Paris, 6°.

IRAGUE (Julien), Professeur de Physique au Lycée de Bordeaux (Gironde).

ISCOVESCO (D^r), ancien Interne des Hôpitaux de Paris, Maître de Conférences à l'École des Hautes Études, 198, boulevard Pereire, Paris, 17°.

IVANOFF (Constantin), Assistant de Physique à l'Université d'Odessa (Russie).

IVRY (le baron Jean d'), 8, rue Yvon-Villargeau, Paris, 16°.

IVES (James-Edmund), Assistant Professor of Physics University of Cincinnati, Ohio (États-Unis).

IZARN (Joseph), Professeur au Lycée Pascal, 34, rue Bansac, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

JACOBS (Fernand), Président de la Société belge d'Astronomie, 21, rue des Chevaliers, à Bruxelles (Belgique).

JAGER (Gustav), Docteur, Professeur de Physique « Technische Hochschule », Vienne (Autriche).

JAILLE (le Marquis de la), 26, rue d'Armenonville, à Neuilly-sur-Seine.

JAMBART (J.), Prof^r au Lycée, 40, avenue St-Roch, à Valenciennes (Nord).

JANET (Paul), Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité, 8, rue du Four, Paris, 6°.

JAPY (Paul-Albert-Jean-Émile), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Berne, par Seloncourt (Doubs).

JAQUEROD (Adrien), Docteur ès sciences, Professeur à la Faculté des Sciences, Laboratoire de Physique de l'Académie de Neuchâtel (Suisse).

JARDIN, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Marseille (Bouches-du-Rhône).

JARIAS (Germain-Mathieu), Chargé de Cours, 50, boulevard Barnabègre, à Pau (Basses-Pyrénées).

JARRE (L.-M.), Ingénieur électricien, anciennement attaché à la Maison Sautter, Harlé et C^{ie}, 9, rue Louis-le-Grand, Paris, 2°.

JAUBERT (Georges), D^r ès sciences, 155, boulevard Malesherbes, Paris, 17°.

JAUMANN (D^r Gustav), Professeur de Physique à l'École Polytechnique, à Brünn (Autriche).

JAVAL (Jean), Membre du Conseil général de l'Yonne, 45, rue de Boulainvilliers, Paris, 16°.

JAVAUX (Émile), Administrateur-Directeur de la Société Gramme, 130, boulevard Pereire, Paris, 17°.

MM.

- JEANS (J.-B.)**, Professor of Applied Matematics Princeton University, Princeton New-Jersey (États-Unis).
- JÉNOT**, Prof^r honoraire au Collège Rollin, 11, rue Caulaincourt, Paris, 18^e.
- JOANNIS** (l'abbé **Joseph de**), Licencié ès sciences physiques et mathématiques, 7, rue Coëtlogon, Paris, 6^e.
- JOB**, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 18, avenue d'Orléans, Paris, 14^e.
- JOBIN (A.)**, ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de précision, 31, rue Humboldt, Paris, 14^e.
- JOHN CRERAR LIBRARY (The)**, à Chicago, Ill. (États-Unis).
- JOLY (A.)**, Professeur au Lycée Henri IV, 40, rue du Luxembourg, Paris, 6^e.
- JOLY (Louis)**, ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, rue Delambre, Paris, 14^e.
- JONES (Norman-Harry)**, Student Woolwich Polytechnic, 119, Herbert Road, Woolwich (Angleterre).
- JORDAN (Charles)**, D^r ès sciences, 1, Lisznyai Utca 15, à Budapest (Hongrie).
- JOSEPH (Paul)**, ancien Élève de l'École Polytechnique, à l'île d'Yeu (Vendée).
- JOUAUST (Raymond)**, Chef de Travaux au Laboratoire central d'Électricité, 14, rue de Staël, Paris, 15^e.
- JOUBERT**, Insp^r général de l'Instruction publique, 67, rue Violet, Paris, 15^e.
- JOUBIN**, Doyen de la Faculté des Sciences de Grenoble (Isère).
- JOYE (Paul)**, Assistant au Laboratoire de Physique de l'Université de Fribourg (Suisse).
- JOYEUX (Eugène)**, 10, avenue de Bellevue, à Sèvres (Seine-et-Oise).
- JUDIC (Georges)**, Ingénieur électricien, 26, rue Tourlaque, Paris, 18^e.
- JULIUS (Willem-Henri)**, Docteur ès sciences, Professeur de Physique à l'Université, Witterouwensigel, 18, à Utrecht (Hollande).
- JUNGFLEISCH (E.)**, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 74, rue du Cherche-Midi, Paris, 6^e.
- JUPEAU**, Professeur au Lycée de Poitiers (Vienne).
- JUPPONT (Pierre)**, Ingénieur des Arts et Manufactures, 55, allée Lafayette, à Toulouse (Haute-Garonne).
- JURIEN DE LA GRAVIÈRE (J.)**, 15, avenue de Tourville, Paris, 7^e.
- JUSTO Y SANCHEZ-BLANCO (Mannuel de)**, Ingénieur, D^r ès sciences, Prof^r à l'École supérieure des Arts et Métiers, Prado, 27, à Madrid (Espagne).
- KAPOUSTINE (Théodore)**, Professeur de Physique à l'Université de Tomsk (Sibérie).
- KARPEN (Vasilescu)**, Ingénieur, Docteur ès sciences, 40, Occident, à Bucarest (Roumanie).
- KEATING-HART (de)**, Docteur en Médecine, 5, boulevard Notre-Dame, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- KERNTLER (François)**, Directeur de la Société du tunnel de Budapest, rue d'Albrecht, à Budapest II (Hongrie).

MM.

- KIEN** (l'abbé Pierre), D^r Physicien, à Montigny-lès-Metz (Lorraine).
- KIMBALL** (Arthur-Lalanne), D^r Phil., John Hopkins University Professor of Physics, Amherst College, Amherst, Mass. (États-Unis).
- KLEIN**, Préparateur de Physique (Laboratoire d'Enseignement) à la Faculté des Sciences, 10, rue Antoine-Roucher, Paris, 16^e.
- KLOTZ** (Henri), 18, place Vendôme, Paris.
- KLUPATHY** (Ienö), Docteur ès sciences, Professeur à l'Université, VII Rottenbiller uteza, 33, à Budapest (Hongrie).
- KNOLL**, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand, 123, rue Saint-Jacques, Paris, 5^e.
- KOCH** (René-Charles-Jean-François-Jules), Ingénieur civil, 46, rue Saint-Antoine, Paris, 4^e.
- KOECHLIN** (Horace), Chimiste, 19, avenue du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).
- KOHLRAUSCH** (Friedrich), Docteur Président A. D. der Physikalische Technische Reichsanstalt, Marburg (Bezirk-Cassel) (Allemagne).
- KOLWRAT**, Licencié ès sciences, 52, avenue des Gobelins, Paris, 5^e.
- KÖNIG** (Walter), Professeur de Physique à l'Université, Loberstrasse, 23, à Giessen (Allemagne).
- KOPPÈS** (Jean), Professeur de Physique au Gymnase de Luxembourg, 15, boulevard Royal, à Luxembourg (Belgique).
- KORDA** (Désiré), Administrateur de la Société française d'électricité A. E. G., 15, rue Ambroise-Thomas, Paris, 9^e.
- KOROLKOFF** (Alexis), Colonel d'Artillerie russe, Professeur de Physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Petersbourg (Russie).
- KOTELOW** (Constantin), Professeur de Physique à l'École des Mines supérieures, à Ekaterinoslaw (Russie).
- KOUPRIANOFF**, Maître de Conférences au Laboratoire de Physique, Académie d'Artillerie Michel, à Saint-Petersbourg (Russie).
- KOUSTOVSKY** (Mitrophan), Professeur au gymnase russe, Russie Mariopol, mer d'Azow.
- KOWALSKI** (E.), Professeur à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 18, rue d'Alzon, à Bordeaux (Gironde).
- KOWALSKI** (Joseph de), Professeur à l'Université de Fribourg (Suisse).
- KROUCHKOLL**, Docteur ès sciences et Docteur en Médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 150, avenue de Wagram, Paris, 17^e.
- KRUGER** (F.), D^r Phil., Privat dozent der Physik d'Universitat, Walkemühlenweg, 29, à Göttingen (Allemagne).
- KUCERA** (Bohumil), D^r Phil., Professeur adjoint à l'Université tchèque, Laboratoire de Physique, à Prague (Bohême).
- KUNTZMANN** (Louis), Professeur au Collège, 1, rue Gambetta, à Pont-à-Mousson (Meurthe-et-Moselle).
- KUNZ** (Jakob). Erdgenossisches Physikgebäude Gloristr., 35, à Zurich (Suisse).

MM.

LABORATOIRE DE PHYSIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE GENÈVE (Suisse).

LABORATOIRE DE PHYSIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE FRIBOURG, Péroilles-Fribourg (Suisse).

LABORATOIRE D'ESSAIS du Conservatoire national des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin, Paris.

LACOSTE (Jules), Constructeur, 28, boulevard de Strasbourg, Paris, 10°.

LACROIX (Paul), Directeur de la Compagnie Universelle d'Acétylène, 36, rue de Châteaudun, Paris, 9°.

LAFAY (A.), Capitaine d'Artillerie, Professeur à l'École Polytechnique, 71, avenue Victor-Hugo, à Vanves (Seine).

LAFLAMME (M^{re}), Membre de la Société géologique de France, Recteur de l'Université Laval, Québec (Canada).

LAISNEZ (l'abbé), ancien Professeur, à Gouville (Manche).

LALA (Ulysse), Docteur ès sciences, Maître de Conférences adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, Professeur de Mécanique et de Physique à l'École des Beaux-Arts et des Sciences industrielles, 16, boulevard de Strasbourg, à Toulouse (Haute-Garonne).

LALLEMAND (Charles), Ingénieur en chef des Mines, Directeur du nivellement général de la France, Membre du Bureau des Longitudes, 58, boulevard Émile-Augier, Paris, 16°.

LAMBERT (Pierre), Ingénieur, 5, rue de la Tour-des-Dames, Paris, 9°.

LAMIRAND, Professeur au Lycée Saint-Louis, 52, boulevard Saint-Jacques, Paris, 14°.

LAMOTTE (Marcel), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, boulevard Pasteur, Chamalières (Puy-de-Dôme).

LAMPA (A.), Professeur à l'Université, Hadersdorf Weidlingau bei Wien (Autriche).

LANCE (M^{lle}), Préparatrice au Lycée Fénelon, 45, rue Saint-André-des-Arts, Paris, 6°.

LANCELOT (J.), Constructeur d'instruments d'acoustique, 70, avenue du Maine, Paris, 14°.

LANDRIN, ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, boulevard de Courcelles, Paris, 17°.

LANDRY (Jean), Ingénieur, Professeur d'Électricité industrielle à l'Université, 57, avenue de Rumine, La France, Lausanne (Suisse).

LANG (Victor von), Professeur à l'Université de Vienne (Autriche).

LANGEVIN (P.), Professeur au Collège de France, 58, rue Boucicaut, à Fontenay-aux-Roses (Seine).

LANIÉS, Professeur au Lycée de Toulouse (Haute-Garonne).

LAPORTE, Ingénieur civil des Mines, ancien Élève de l'École Polytechnique, Chef des Travaux au Laboratoire central d'Électricité, 2, rue Saint-Simon, Paris, 7°.

LAPRESTÉ, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Nicolas-Charlet, Paris, 15°.

LARMOR (Joseph), Lucasian Professor of Mathematics Saint-John's College, Cambridge (Angleterre).

MM.

- LARMOR (Alexander)**, M. A., Professor of natural Philosophy Magee College,
Londonderry (Irlande).
- LAROCHE (Félix)**, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite,
110, avenue Wagram, Paris, 17^e.
- LAROUSSE (Auguste)**, Professeur au Lycée, 31, rue du Bastion, à Nancy
(Meurthe-et-Moselle).
- LASSERRE**, Professeur au Lycée, 39, rue Daguerre, à Alger (Algérie).
- LATOURET**, Professeur honoraire, 9, rue Daillière, à Angers (Maine-et-
Loire).
- LAURENT (Léon)**, ancien Constructeur d'instruments d'Optique, 21, rue de
l'Odéon, Paris, 14^e.
- LAURIOL (Pierre)**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 278, boulevard
Raspail, Paris, 6^e.
- LAVIEVILLE (Augustin)**, Inspecteur honoraire de l'Académie de Paris,
198, rue de Vaugirard, Paris, 6^e.
- LE BEL (J.-A.)**, ancien Président de la Société chimique, 250, rue Saint-
Jacques, Paris, 5^e.
- LEBERT (Louis-Eugène)**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à
Vannes (Morbihan).
- LEBEUF (Auguste-Victor)**, Directeur de l'Observatoire national de Besançon
(Doubs).
- LEBLANC (Maurice)**, ancien Élève de l'École Polytechnique, Val sur Seine,
à Croissy (Seine-et-Oise).
- LEBLANC (Maurice-Auguste-Eugène)**, Ingénieur de la Société Cooper-
Hewitt, 4, avenue Augier, au Croissy (Seine-et-Oise).
- LE BON (D^r G.)**, 29, rue Vignon, Paris, 8^e.
- LE CADET (Georges)**, Docteur ès sciences, Vice-Directeur de l'Observatoire
central et du Service magnétique et météorologique de l'Indo-Chine, à
Phu-Lien (Tonkin).
- LECAT**, Professeur honoraire au Lycée Janson-de-Sailly, Canly (Oise).
- LE CHATELIER (André)**, Ingénieur en chef de la Marine, 331, rue Paradis,
à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- LE CHATELIER (Henry)**, Membre de l'Institut, Professeur à l'École des Mines,
Professeur à la Faculté des Sciences, 75, rue Notre-Dame-des-Champs,
Paris, 6^e.
- LE CHATELIER (Louis)**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 7, rue
du Regard, Paris, 6^e.
- LECHAUDÉL (René)**, Industriel, à Pont-sur-Saulx, par Robert-Espagne
(Meuse).
- LECHER (D^r Ernst)**, Professeur à l'Université de Prague (Autriche).
- LECOIN**, Professeur au Lycée, 20, rue Segondat, à Cherbourg (Manche).
- LEDUC (A.)**, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 3, rue de Médecin,
Paris, 6^e.
- LEDUC (D^r Stéphane)**, Professeur à l'École de Médecine, 5, quai de la Fosse,
à Nantes (Loire-Inférieure).

MM.

- LEES (Charles-Herbert)**, D^r Sc., F. R. S. University of London, Professor of Physics in the East London College « Greeneres », Mayfield avenue, Woodford Green, Essex (Angleterre).
- LEFEBVRE (Léon)**, Ingénieur des Arts et Manufactures, 30, boulevard Beaumarchais, Paris.
- LEFEBVRE (Pierre)**, Professeur au Lycée, 10, rue de Noailles, à Versailles (Seine-et-Oise).
- LEFÈVRE (Z.-H.-D.)**, Préparateur de Physique au Lycée, 10, rue Frédéric-Petit, à Amiens (Somme).
- LEHMANN (Théodore)**, Ingénieur de la Société alsacienne de constructions mécaniques, à Belfort (Territoire de Belfort).
- LEIGH (Ch.-D.-E.)**, The Victoria University of Manchester (Angleterre).
- LEJEUNE (D^r Louis)**, Médecin électricien, 1, rue des Urbanites, à Liège (Belgique).
- LEMERAY (Maurice)**, Licencié ès sciences mathématiques et physiques, Ingénieur civil, villa Rose, place Macé, à Antibes (Alpes-Maritimes).
- LEMOINE (Émile)**, Chef honoraire du Service de la vérification du gaz, 4, boulevard de Vaugirard, à Paris, 15^e.
- LEMOINE (Constant)**, Professeur au Lycée de Nantes (Loire-Inférieure).
- LEMOINE (Georges)**, Membre de l'Institut, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École Polytechnique, 76, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 6^e.
- LEMOINE (Jules)**, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 46, boulevard Port-Royal, Paris, 5^e.
- LENARD (Philippe)**, Docteur en Pharmacie et Médecine, Professeur à l'Université, Niemannsweg, 22, à Kiel (Allemagne).
- LENOIR (Léon)**, Professeur de Physique au Lycée, 10, rue de l'Écusson, à Alençon (Orne).
- LEPERCQ (Gaston)**, Professeur de Chimie à la Faculté libre, 3, rue Martin, à Lyon (Rhône).
- LE POUPON (Ferdinand)**, Prof^r de Physique au Collège d'Argentan (Orne).
- LEQUEUX (P.)**, Ing^r des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac, Paris, 5^e.
- LERAY (l'abbé)**, 14, rue de l'Archevêché, à Conflans-Charenton (Seine).
- LERMANTOFF**, Professeur de Physique de l'Université de Saint-Petersbourg (Russie).
- LEROY (J.)**, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail, Paris, 14^e.
- LEROY (Victor)**, 12, Entre-Deux-Places, à Arras (Pas-de-Calais).
- LESAGE (A.)**, Professeur de Physique au Lycée, 23, rue Grande-Matoubin, à Châteauroux (Indre).
- LESOBRE**, Professeur au Collège, 13, rue Crévoulin, à Melun (Seine-et-Marne).
- LÉTANG (D^r Marc)**, à l'Essart, par Poitiers (Vienne).
- LETELLIER (Albert-Eustache)**, Professeur au Lycée, 107, rue du Mont-Désert, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- LEUILLIEUX (D^r)**, Médecin de la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, 32, rue de Ballon, Le Mans (Sarthe).

MM.

- LÈVESQUE** (Lieutenant), Section de Géodésie du Service géographique de l'Armée, 140, rue de Grenelle, Paris, 7°.
- LÉVY (Armand)**, Professeur de Physique, 9, rue du Lycée, à Besançon (Doubs).
- LÉVY (Michel)**, Membre de l'Institut, 26, rue Spontini, Paris, 16°.
- LEYMARIE**, Professeur en retraite, à Rignac, par Martel (Lot).
- LIBRARY OF UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA**, à Philadelphie (États-Unis).
- LIÉNARD (Alfred-Marie)**, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École des Mines, 16, rue Stanislas, Paris, 6°.
- LIGONDES (de)**, Colonel, à Saint-Bonnet-de-Rochefort (Allier).
- LIMB (Claudius)**, Docteur ès sciences, Ingénieur-Conseil, 11, quai de l'Archevêché, à Lyon (Rhône).
- LINARDOS (Georges)**, Ingénieur industriel, Diplômé de l'École des Ponts et Chaussées de Paris, 2, rue Glavany, à Constantinople (Turquie).
- LIPPICH (Fr.)**, Professeur à l'Université de Prague (Autriche).
- LIPPMANN**, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon, Paris, 6°.
- LOCHARD (André)**, Professeur à l'École des Mines, maison David, Rond-Point, à Saint-Étienne (Loire).
- LOCHERER**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 45, rue Ampère, Paris, 17°.
- LOISELEUR**, Chargé de Cours de sciences au Lycée, 74, chemin du Pin-Franc. Le Bouscat, Bordeaux (Gironde).
- LORENTZ (Hendrik-Antoon)**, Professeur à l'Université, 48, Hovigracht, à Leiden (Hollande).
- LORION**, Professeur au Lycée, de Nevers (Nièvre).
- LOUGUININE (W.)**, Docteur honoraire, Professeur de Thermochimie à l'Université de Moscou, 26, rue Boissière, Paris.
- LOUIS (M^{lle})**, Professeur au Lycée de jeunes filles de Brest (Finistère).
- LOUVET (Édouard)**, Élève libre à l'École des Mines, 49, rue de Vaugirard, Paris, 6°.
- LUBOSLAWSKI (Gennady)**, Professeur de Physique et de Météorologie à l'Institut Impérial forestier, à Saint-Petersbourg (Russie).
- LUCAS (Le R. P. J.-D.)**, S. I., Professeur à la Faculté des Sciences, Collège Notre-Dame-de-la-Paix, à Namur (Belgique).
- LUGOL (Paul)**, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Toullier, Paris, 5°.
- LUMIÈRE (Auguste)**, Ingénieur chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon) (Rhône).
- LUMIÈRE (Louis)**, Ingénieur chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon) (Rhône).
- LUSSANA (Silvio)**, Docteur ès sciences, Directeur de l'Institut physique de l'Université de Sienne (Italie).
- LYMAN (Theodore)**, Ph. D., Instructor of Physics Harvard University, Jefferson Laboratory, Harvard College, Cambridge, Mass. (États-Unis).
- LYON (Gustave)**, ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, Industriel, 22, rue Rochechouart, Paris, 9°.

MM.

- MACALUSO (D.)**, Docteur, Professeur à l'Université de Palerme (Italie).
- MACDONALD (Hector-Munro)**, F. R. S., Professor of Mathematics in University of Aberdeen, 33 College Bounds, Old Aberdeen (Angleterre).
- MACH (D' ERNST)**, Professeur de Physique à l'Université, XVIII, Gersthofstrasse, Vienne (Autriche).
- MAC LENNAN**, Prof^r à l'Université de Toronto, province d'Ontario (Canada).
- MACQUET (Auguste)**, Ingénieur au corps des Mines, Directeur de l'École provinciale d'Industrie et des Mines du Hainaut, 22, boulevard Dolez, à Mons (Belgique).
- MADAMET**, Directeur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- MADARIAGA (Jose de)**, Ingénieur des Mines, 18, rue Zurbano, à Madrid (Espagne).
- MAIGRET (Dr)**, 86, avenue de la République, à Montrouge (Seine).
- MAILLY (Paul-Marc)**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Société anonyme d'Explosifs et de Produits chimiques, à Villafranca in Lunigiana (Italie).
- MAISONOBE**, Capitaine d'Artillerie, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
- MAJORANA (Quirino)**, Institut supérieur des Télégraphes, Vial del Re, 131, à Rome (Italie).
- MALASSEZ**, Préparateur à la Faculté des Sciences, 166, boulevard Saint-Germain, Paris, 7^e.
- MALCLÈS**, Préparateur à la Faculté des Sciences, 34, rue Gay-Lussac, Paris, 5^e.
- MALDINEY (J.)**, Professeur à l'École de Médecine et de Pharmacie, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, 32, rue Mégevand, à Besançon (Doubs).
- MALFREYT (Jules)**, Professeur au Lycée de Saint-Étienne (Haute-Loire).
- MALLARD (Henri)**, Lieutenant d'Artillerie, 24, rue de la Tour-Garnier, à Angoulême (Charente).
- MALOSSE**, Professeur à l'École de Médecine d'Alger (Algérie).
- MALTÉZOS**, Docteur ès sciences, 2, rue Asterion, à Athènes (Grèce).
- MAMY (J.)**, Professeur au Lycée, 15, rue Thibaudeau, à Poitiers (Vienne).
- MANEUVRIER**, Directeur adjoint du Laboratoire des Recherches physiques, à la Sorbonne, Paris, 5^e.
- MANIÈRE (M^{lle} Berthe)**, Professeur au Lycée de jeunes filles, 9, rue Louis-Vivent, à Agen (Lot-et-Garonne).
- MANN (Herbert-Leslie)**, Associate of the Royal College of Science London St Denys « Shooters Hill », Woolwich Polytechnic Woolwich, London, S. E. (Angleterre).
- MANNA (Dott. Salvatore)**, Medico dell' Ospedale di S. M. della Pace, Direttore dell' Istituto di terapia fisica di Napoli, Consulente dell' Ospedale civile di Marcianise, Magellina, 156 (P. P. Nob.); Napoli (Italie).
- MANVILLE (Octave)**, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

MH.

MARAGE (D^r), Docteur ès sciences, 14, rue Duphot, Paris, 1^{er}.

MARCHAND, Directeur de l'Observatoire du Pic du Midi, par Bagnères-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées).

MARCHIS, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 106, rue Mazarin, à Bordeaux (Gironde).

MARIE, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne, 5, rue Basse-des-Carmes, Paris.

MARIE (D^r Charles), D^r ès sciences, Chef de Travaux pratiques de Chimie, Physique et d'Électrochimie à la Faculté des Sciences, Institut de Chimie appliquée, 98, rue du Cherche-Midi, Paris, 6^e.

MARIE (D^r Th.), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 11, rue de Rémusat, à Toulouse (Haute-Garonne).

MARSAL (P.), Professeur au Lycée, 27, rue Sigisbert-Adam, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MARTIN (Georges), Ingénieur de la Station d'Éclairage électrique, 67, rue Rousseau, à Bar-le-Duc (Meuse).

MARTINET (E.), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 21, rue Théophile-Gautier, Paris, 16^e.

MASCART (Auguste), Professeur au Collège Courbet, à Abbeville (Somme).

MASSE (Maurice), ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, place de l'Église-du-Vœu, à Nice (Alpes-Maritimes).

MASSIN, Ingénieur des Télégraphes, 61, rue de Vaugirard, Paris, 6^e.

MASSIOT (G.) (maison Radiguet et Massiot), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire, Paris, 3^e.

MASSOL (Noël-Gustave), Directeur de l'École supérieure de Pharmacie, 20, boulevard des Arceaux, à Montpellier (Hérault).

MASSON (Louis), 33, rue de Vincennes, à Montreuil-sous-Bois (Seine).

MASSOULIER, Professeur au Lycée Henri IV, 11, villa Brune, Paris, 14^e.

MATHER (Enoch), Ph. D. A. M., M. D., D. Sc. L. L. D., R. I. P. H., Eng. F. R. M. et S. Eng. M. S. A. Eng. Professor Électro-thérapeutique, 168, High Street West, Detroit, Mich. (États-Unis).

MATHIAS (Émile), Professeur à la Faculté des Sciences, 44, allée Lafayette, à Toulouse (Haute-Garonne).

MATHIEU (Maurice-Julien), Ingénieur des Arts et Manufactures, 1 bis, rue Riboutté, Paris, 9^e.

MATHIEU (Joseph-Louis), Professeur au Lycée d'Évreux (Eure).

MATHIEU (Louis), Directeur de la Station œnologique de Bourgogne, à Beaune (Côte-d'Or).

MATHIEU (Paul-Hyacinthe), Licencié ès sciences mathématiques et physiques, Ing^r électricien E. S. E., Prof^r de Physique, 3, rue Vauquelin, Paris, 5^e.

MATHIEU (Jean-François), Ingénieur chimiste, 6, rue Choron, Paris, 9^e.

MAUNOURY (Victor-Gabriel), Chirurgien de l'Hôtel-Dieu de Chartres, 26, rue Bonneval, à Chartres (Eure-et-Loir).

MAUPEOU (de), Directeur du Génie maritime du cadre de réserve, 4, place du Gast, à Laval (Mayenne).

MM.

- MAURAIN (Charles)**, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen (Calvados).
MAURIN (Joseph-Léon-Marie), ancien Élève de l'École Polytechnique, Capitaine d'Artillerie coloniale, 11, place de la Liberté, à Lorient (Morbihan).
MAYER (Dr André), 33, rue du Faubourg-Poissonnière, Paris, 9^e.
MAZEN (Natalis), Ingénieur du Service électrique des Chemins de fer de l'Ouest, 35, rue Magenta, à Asnières (Seine).
MECHLING (Gustave), Constructeur d'instruments de précision en verre, 7, rue des Grands-Degrés, Paris, 5^e.
MEISSONNIER, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, 78, boulevard de la Corderie, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
MELANDER, Préparateur à l'Université Skapshyllegatam, 17, à Helsingfors (Finlande).
MENDELSSOHN (Maurice), Docteur en Médecine, Membre correspondant de l'Académie de Médecine, 49, rue de Courcelles, Paris, 8^e.
MENDÈS (M^{lle}), Professeur au Lycée de jeunes filles, à Villeneuve-sur-Lot (Lot-et-Garonne).
MENIER (Henri), Ingénieur, 8, rue Alfred-de-Vigny, Paris, 8^e.
MENSERUGGHE (Gustave-Léonard Van der), Membre de l'Académie Royale, Professeur de Physique mathématique à l'Université, Coupure, 131, à Gand (Belgique).
MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 21, rue Descartes, Paris, 5^e.
MERCANTON (Paul-Louis), Professeur à l'Université, Les Borromées, M^e Riondgare, avenue de la République, à Lausanne (Suisse).
MERCIER (Pierre), Chimiste, 23, rue des Moines, Paris, 17^e.
MERCIER (R.), Ingénieur, 1, rue des Grands-Degrés, Paris, 5^e.
MERLIN (Paul), Professeur au Lycée, 78, faubourg Vincent, à Châlons-sur-Marne (Marne).
MESLANS (Maurice), 59, quai de la Baronnie, à Ablon (Seine-et-Oise).
MESLIN (Georges), Professeur à la Faculté des Sciences, villa Marie, ancien chemin de Castelnau, Montpellier (Hérault).
MESNAGER (Augustin), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur des Canaux de la Ville de Paris, 182, rue de Rivoli, Paris, 1^{er}.
MESSAGER, Professeur au Lycée de Brest (Finistère).
MESTRE, Ingénieur principal des Études à la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette, Paris, 10^e.
MÉTRAL (Pierre), Directeur de l'École Colbert, 27, rue Château-Landon, Paris, 10^e.
METTLER (Eric-Jean-Marie), Ingénieur chimiste, à Bozel (Savoie).
METZ (de), Professeur à l'Université St-Wladimir, 3, rue du Théâtre, à Kiew (Russie).
MEYER, Directeur de la Compagnie continentale Edison, 38, rue Saint-Georges, Paris, 9^e.
MEYER (J.), Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, 9, rue du Joli-Cœur, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MM.

MEYER (Dr Stefan), Privat-docent à l'Université, Turkenstrasse, 3, à Vienne (Autriche).

MEYLAN (Eugène), Ingénieur, 23, boulevard du Montparnasse, Paris, 6^e.

MEYNIER, Professeur au Lycée de Rouen (Seine-Inférieure).

MICHAUT (Victor), Professeur de Physiologie à l'École de Médecine, 2, rue des Perrières, à Dijon (Côte-d'Or).

MICHEL (Auguste), Ingénieur civil, 10, boulevard Victor-Hugo, à Saint-Germain-en-Laye (Seine-et-Oise).

MICHELSON (Albert), Professeur à l'Université de Chicago (États-Unis).

MICKS (Richard), Professeur au Gymnase communal, à Trieste (Autriche).

MICULESCU (Constantin), Professeur à l'Université, 3, Strada Spatarului, à Bucarest (Roumanie).

MILAN STEFANIK, Dr ès sciences, Observatoire d'Astronomie physique, 6, rue Leclerc, Paris, 14^e.

MILLARD (John-A.), Docteur en Médecine, au château Sunnyside, à Dinard-Saint-Énogat (Ille-et-Vilaine).

MILLIS (John), Lt.-col. corps of Engineers, United States army, U. S. Engineer office, 813 Prospect. Ave. S. E., Cleveland, Ohio (États-Unis).

MINCHIN (Howard-D.), Ph. D., Assistant Professor of Physics University. of Rochester, Rochester, New-York (États-Unis).

MITJAVILA (Jaime), Medico mayor de Sanidad militar, Urosas, 8, Madrid (Espagne).

MITKEWITCH (Wladimir), Assistant de Physique à l'Institut des Mines, à Saint-Petersbourg (Russie).

MIX (Edgar-W.), Ingénieur électricien, 12, boulevard des Invalides, Paris, 7^e.

MOCKERIDGE (M^{lle} Florence), Student at the Wolwich Polytechnic, London, 69, Plum Lane, Plumskad, Londres (Angleterre).

MONDAIN, Dr en Médecine, 23, rue Joinville, Le Havre (Seine-Inférieure).

MONNIER (D.), Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 3, rue Cothenet, Paris, 16^e.

MONNORY (Henri), ex-Professeur au Lycée Hoche, Directeur des études à l'École centrale des Arts et Manufactures, 35, boulevard Saint-Michel, Paris, 5^e.

MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon (Rhône).

MONTHIERS (Maurice), 50, rue Ampère, Paris, 17^e.

MONTLAUR (le comte de), Président de la Société de l'Électrochimie, 41, avenue de Friedland, Paris, 8^e.

MONTMOLLIN (André de), Licencié ès sciences, Chef du Service de l'Électricité Lausanne, La Verveine, chemin de Villars, à Lausanne (Suisse).

MOORE (Joseph-Haines), Dr Phil., Assistant in Spectroscopy in the Lick Observatory, Mount Hamilton, California (États-Unis).

MORE (Louis Tranchard), Ph. D., Professeur de Physique à l'Université de Cincinnati, Cincinnati (États-Unis).

MOREAU (Georges), Doyen de la Faculté des Sciences, 68, rue Saint-Hélier, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

MM.

- MOREUX** (l'abbé **Th.**), Professeur de Physique à l'École Saint-Célestin, à Bourges (Cher).
- MORIN** (**F.**), Professeur suppléant de Physique à l'École de Médecine, chef des Travaux pratiques de Physique, 17, place Lamoricière, à Nantes (Loire-Inférieure).
- MORIN** (**Pierre**), Professeur au Lycée, rue des Faucheroux, à Montluçon (Allier).
- MORIZE** (**Henri**), Directeur de l'Observatoire, Rio de Janeiro (Brésil).
- MORIZOT**, Chargé de Cours, au Lycée de Chaumont (Haute-Marne).
- MOSER** (**D^r James**), Privat-docent à l'Université, 25, Laudon-Gasse, Vienne VIII/1 (Autriche).
- MOUCHEL** (**Charles**), Professeur de Sciences, 18, rue des Trois-Cornets, à Elbeuf (Seine-Inférieure).
- MOULIN** (**Honoré**), Chef d'escadron d'Artillerie, Major à l'École Polytechnique, 21, rue Descartes, Paris, 5^e.
- MOULIN** (**Marcel**), Sous-Chef des Travaux pratiques de Physique à l'École de Physique et de Chimie, 303, rue du Faubourg-Saint-Antoine, Paris, 11^e.
- MOULINIER** (**M^{me} Pauline**), Professeur au Lycée de jeunes filles, 8, rue Royale, à Nantes (Loire-Inférieure).
- MOUNEYRAT** (**Antoine**), Docteur ès sciences, Docteur en Médecine, 20, rue Godot-de-Mauroy, Paris, 9^e.
- MOUREAUX** (**Th.**), Directeur de l'Observatoire du Parc Saint-Maur (Seine).
- MOURET**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 22, rue Chifflet, à Besançon (Doubs).
- MOUSSELIUS** (**Maximilien**), r. Boulwarnia, maison Sokolowski, à Tsarskoë Selo (Russie).
- MOUTON** (**Henri**), Docteur ès sciences, Attaché à l'Institut Pasteur, 42, rue Mathurin-Régnier, Paris, 15^e.
- MUHL** (**K. von der**), Professeur ordinaire de Physique mathématique à l'Université de Bâle (Suisse).
- MUIRHEAD** (**D^r Alexandre**), F. C. S., The Lodge, Sportlands, Kent (Angleterre).
- MULLER** (**P.-Th.**), Professeur à l'Université, 31, rue Victor-Hugo, Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- MURAT** (**I. St.**), Directeur de l'Institut du Service central des Poids et Mesures de Roumanie, 28, rue Romano, à Bucarest (Roumanie).
- MUTEL** (**Alexandre**), Professeur au Lycée, 11, rue des Bégonias, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- MUYNCK** (**René de**), Professeur à l'Université de Louvain (Belgique).
- MYCHKINE**, Professeur de Physique à l'Institut agronomique de Novo Alexandria (Russie).
- NACHET** (**Camille**), Constructeur d'instruments d'Optique, 7, rue des Gravilliers, Paris, 3^e.
- NAGAOKA** (**H.**), Docteur ès sciences, Professeur de Physique à l'Université de Tokio (Japon).

MM.

- NAMBA MASSASHI**, Professeur à l'Université de Kioto (Japon).
- NARDROFF** (Ernest-R. von), E. M. D. Sc., Head of Science Department Erasmushall High School, 397, Madison St., Brooklyn, N. Y. (États-Unis).
- NATANSON** (Ladislav), Membre de l'Académie des Sciences de Cracovie, Professeur à l'Université, 8, rue Wolska, à Cracovie (Autriche).
- NÉCULCEA** (Eugène), Ministère des Finances, Bureau de Statistique, à Bucarest (Roumanie).
- NÉEL** (Auguste-Jean-Marie), Ingénieur de la C^{te} normande de Gaz, Électricité et Eau, route de Pont-l'Évêque, à Trouville (Calvados).
- NEGREANO** (D.), Professeur à l'Université, 13, boulevard Ferdinand, à Bucarest (Roumanie).
- NEGRO** (Carlo), Professeur, Collegio S. Luigi, à Bologne (Italie).
- NÉLIOUBOFF** (Valérien), Préparateur à l'Institut technologique de Saint-Petersbourg (Russie).
- NERVILLE** (de), Ingénieur des Télégraphes, 59, rue de Ponthieu, Paris, 8^e.
- NEU** (Lucien), ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur-Conseil, 94, rue du Ranelagh, Paris, 16^e.
- NEVEU** (Raoul), Constructeur d'instruments de Physique, 35, rue de la Montagne-Sainte-Geneviève, Paris, 5^e.
- NICOLAÏDES** (Emmanuel-C.), Ingénieur électricien, Weinbergstrasse 22^{me}, Zurich I (Suisse).
- NICOLAÏEVE** (Wladimir de), Général-Major d'Artillerie, professeur à l'École militaire Paul, à Saint-Petersbourg (Russie).
- NICOLLE** (Abel), Ingénieur de la Marine, à l'Arsenal de Marine, à Saïgon (Indo-Chine).
- NICOLLIER** (Marius), Professeur, Docteur ès sciences, 20, rue de la Gare, à Montreux (Suisse).
- NIEWENGLOWSKI** (Dr G.-H.), Prof^r au Lycée Carnot, Le Kram (Tunisie).
- NIPHER** (Francis-E.), Professor of Physics, Washington University Saint-Louis, Missouri (États-Unis).
- NODON** (Albert), Ingénieur-Conseil, 12, rue de Moulis, à Bordeaux (Gironde).
- NOË** (Charles), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 8, rue Berthollet, Paris, 5^e.
- NOGIER** (Dr Th.), Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 11, rue de la Charité, à Lyon (Rhône).
- NOGUES** (Henri), Licencié ès sciences mathématiques et physiques, Délégué de Physique au Lycée, 3, rue Racine, à Angers (Maine-et-Loire).
- NOIREL**, Capitaine d'Artillerie, Service géographique de l'Armée, en mission à Guerrara, Alger (Algérie).
- NORDMANN** (Ch.), Docteur ès sciences, Attaché à l'Observatoire de Paris, 18, rue des Feuillantines, Paris, 5^e.
- NORDMEYER** (Paul), Dr assistant au Laboratoire de Physique de l'École Polytechnique, à Aix-la-Chapelle (Allemagne).
- NOVAK** (Vladimir), Ph. Dr, Professeur à l'École Polytechnique tchèque, 9 Augustynska ul Bruo Brünn, Moravie-Autriche.

MM.

NUGUES (Émile), Ingénieur, rue Émile-Deschamps, à Versailles (Seine-et-Oise).

OBEAR (George-Barrow), Physics candidate for Ph. D. Member of Sigma Xi, Master of Science, Member American Academy Society, Member American ass. for adv Sci., Instructor in Mathematics at the University, Brown University, Providence, Rhode Island (États-Unis).

ODELL (William), 47, Melbrose avenue, Winbledon Park, London, S. W. (Angleterre).

OFFRET (Albert), Professeur de Minéralogie à l'Université, Villa Sans-Souci, 53, chemin des Pins, à Lyon (Rhône).

OGIER (Jules), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 7, cité Vaneau, Paris, 7^e.

OLIVIER (Louis), Docteur ès sciences, Directeur de la *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 18, rue Chauveau-Lagarde, Paris, 8^e.

OLLIVE (Samuel-Frédéric), Professeur au Lycée de Bastia (Corse).

OLLIVIER (A.), Ingénieur civil, 5, rue Littré, Paris, 6^e.

OLLIVIER (Hélouis), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lille (Nord).

ONDE, Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue Claude-Bernard, Paris, 5^e.

ORETRAND (Charles-Edwin van), Assistant Physicist, U. S. Geological Survey, Washington D. C. (États-Unis).

OSMOND (Floris), Ingénieur civil, 7, rue de l'Ermitage, à St-Leu (S.-et-O.).

ODIN (D^r), 12, rue de Belzunce, Paris, 16^e.

OUMOFF (Nicolas), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

PAILLARD (Gaston), Licencié ès sciences, 36, rue Voltaire, à Levallois-Perret (Seine).

PAILLÉE (Raphaël), Pharmacien de 1^{re} classe, Membre de la Société chimique de Paris, à Arthon-en-Retz (Loire-Inférieure).

PAILLOT (René), Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 53, boulevard Montebello, à Lille (Nord).

PAINLEVÉ (Paul), Membre de l'Institut, 33, rue d'Assas, Paris, 6^e.

PALMADE, 2, rue Baumes, à Montpellier (Hérault).

PALMADE (F.), Chef de bataillon du Génie, Chef du Génie à Bourges (Cher).

PANKIN (Capitaine Alexandre), Professeur à l'Académie d'Artillerie, à Saint-Petersbourg (Russie).

PAQUIER (Marc), Constructeur mécanicien, 5, boulevard Sébastopol, Paris, 1^{er}.

PARKER (Franke-Herbert), B. Sc. Lecturer in Physics, 72, Greenvale Road Eltham Kent (Angleterre).

PASCAL (Paul), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 103, rue Barthélemy-Delespaul, à Lille (Nord).

PASSA, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Marseille (Bouches-du-Rhône).

MM.

PASTOURIAUX, Préparateur à l'École Normale supérieure d'Enseignement primaire, à Saint-Cloud (Seine-et-Oise).

PATENT OFFICE LIBRARY, à Londres, 25, Southampton Buildings, W. C. (Angleterre).

PATTE (Lucien), Prof^r au Lycée, 32, avenue Alsace-Lorraine, à Grenoble (Isère).

PAULIDÈS (Démesthènes), Docteur en Médecine.

PAYN (John), Directeur de l'*Eastern Telegraph Co*, Beaumont Villa, Beaumont Jersey (Iles de la Manche).

PAYRARD (Henri), Conseur du Lycée de Nantes (Loire-Inférieure).

PEAKE (Sexton), F. A. R. C. S., London Fellow of physics Society, « Warwick Lodge » Hampton Wick, Kingston-on-Thames (Angleterre).

PEIRCE (B.-O.), Professeur de Mathématiques Harvard College, Cambridge, Mass. (États-Unis).

PÉLABON (H.), Chargé de Conférences de Chimie à la Faculté des Sciences de Lille (Nord).

PELLISSIER (Eugène), Maître de Conférences à l'Institut national agronomique, Professeur à l'École coloniale, 88 bis, boulevard Latour-Maubourg, Paris, 7^e.

PELLAT (H.), Professeur à la Faculté des Sciences, 23, avenue de l'Observatoire, Paris, 6^e.

PELLET (Auguste-Claude-Étienne), Professeur à la Faculté des Sciences, 77, boulevard Gergovia, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

PELLIN (Philibert), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'instruments d'Optique et de précision, successeur de Jules Duboscq, 5, avenue d'Orléans, Paris, 14^e.

PELLIN (Félix-Philibert), Ing^r-constructeur, 82, rue Vaneau, Paris, 7^e.

PERCY (Phillips), Professor of Physics, Royal Veterinary College, 19, Ranelagh Rd, Wembley Middlesex, London (Angleterre).

PEREIRA (Alfredo), Pharmacien en chef de l'Hôpital *Conde de Ferreira*, à Porto (Portugal).

PÉRIDIER (Julien), Ingénieur des Arts et Manufactures, 9, rue Grimelli, à Toulon (Var).

PERKINS (Henry-Augustin), Professeur de Physique Trinity College, Hartford, Connecticut (États-Unis).

PERNTER (Josef-Mario), D^r i. r., Conseiller de la Cour, Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut central de Météorologie et Géodynamique, Wien XIX/1 Hohe Warse (Autriche).

PEROT (Alfred), Professeur à l'École Polytechnique, Physicien à l'Observatoire d'Astronomie physique de Paris, Directeur honoraire du Laboratoire d'Essais, 16, avenue Bugeaud, Paris, 16^e.

PÉROUX (E.), Capitaine d'Infanterie de Marine en retraite, 11, rue des Canus, à Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise).

PERREAU, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon, Bregille-Besançon (Doubs).

PERRIER (Albert), Assistant à l'Institut de Physique, Zurich (Suisse).

MM.

PERRIER, Capitaine d'Artillerie, détaché à l'État-Major de l'Armée, 34, avenue Bosquet, Paris, 7^e.

PERRIGOT (Marius), 6, chemin Saint-Maximin, à Lyon (Rhône).

PERRIN (Jean), Chargé de Cours de Chimie physique à la Faculté des Sciences, 106, boulevard Kellermann, Paris, 13^e.

PESSEMESE, Professeur au Lycée, 15, rue de Lavalette, à Angoulême (Charente).

PETIT (G.-E.), Ingénieur des Télégraphes, Chargé des Études relatives à la Télégraphie sans fil, 205, boulevard Raspail, Paris, 14^e.

PETIT (Paul), Professeur au Lycée de Foix (Ariège).

PETITEAU (Marcel), Professeur au Lycée, 13, rue de Strasbourg, à Nantes (Loire-Inférieure).

PETROVITCH (Michel), Professeur à l'Université, 24, Kossantch Venac, à Belgrade (Serbie).

PETROVITCH (Serge), Colonel d'Artillerie, Professeur adjoint à l'Académie d'Artillerie Michel, Sabalkansky Prospect, 17, Log. 4, à Saint-Petersbourg (Russie).

PETROWSKY (Alexis), Professeur à l'École des officiers torpilleurs marins, à Kronstadt (Russie).

PFAUNDLER (Léopold), Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut physique, Halbartgasse, 1, Gratz (Autriche).

PFLUGER (Alexandre), D^r Professeur à l'Université, 176, Coblenzerstrasse, à Bonn (Allemagne).

PHASMANN (Augustin), Maire de Saint-Mihiel (Meuse).

PHILBERT, ancien Receveur des Télégraphes, 58, rue d'Antrain, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

PHILIPPE (A.), Professeur au Lycée, 5, rue de l'Abattoir, à Bourges (Cher).

PHILIPPON (Paul), Professeur au Lycée, 6, rue de Brest, à Quimper (Finistère).

PHYSIKALISCHES INSTITUT DER GROSSHERZOGLICHE TECHNISCHEM HOCHSCHULE, zu Darmstadt, 2, Hochschulstrasse, à Darmstadt (Allemagne).

PICARD (Frédéric), Docteur en Médecine, 11, rue Franklin, Paris, 16^e.

PICHON, Prof^r de Physique au Collège de Perpignan (Pyrénées-Orientales).

PICOU (R.-V.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 41, rue Saint-Ferdinand, Paris, 17^e.

PIEUX, Professeur à l'École normale d'instituteurs, à Albertville (Savoie).

PILLEUX, Ingénieur électricien, villa d'Alésia, 5, 111 bis, 111 ter, rue d'Alésia, Paris, 14^e.

PILLEUX (André), Capitaine d'Artillerie, à la fabrique d'armes de Puteaux (Seine).

PILLOT (Arthur), Professeur au Lycée, 56, cours d'Orléans, à Charleville (Ardennes).

PILTSCHIKOFF (Nicolas), Prof^r à l'Institut technique de Karkow (Russie).

PIONCHON, Chargé de Cours de Physique à la Faculté des Sciences de Dijon (Côte-d'Or).

MM.

PIROT (l'abbé), Chanoine honoraire, Supérieur de l'Institution Sainte-Marie, à Bourges (Cher).

PIZZARELLO (Antonio), Professeur de Physique au Lycée Macerata, Macerata (Italie).

PLANER (Victor), Dr Ingénieur diplômé, Rathenwerstrasse, 23, à Berlin (Allemagne).

POCHETTINO (G.-Alfredo), Istituto Fisico della R. Università, à Rome (Italie).

POINCARÉ (Antoni), Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, 10, rue de Babylone, Paris, 7^e.

POINCARÉ (Henri), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 63, rue Claude-Bernard, Paris, 5^e.

POINCARÉ (Lucien), Inspecteur général de l'Instruction publique, 130, rue de Rennes, Paris, 6^e.

POINTELIN, Professeur de Physique au Lycée et à l'École de Médecine, 125, route de Paris, à Amiens (Somme).

POLLARD (Jules), Directeur du Génie maritime, 8, rue de Berri, Paris.

POMEY (J.-B.), Ingénieur des Télégraphes, 140, boulevard Raspail, Paris, 6^e.

PONSELLE (Georges), Ingénieur des Arts et Manufactures, 114, avenue de Wagram, Paris, 17^e.

PONSOLLE (Léon), Ingénieur électricien, ancien Élève de l'École des Arts et Métiers d'Angers, 30, boulevard de Saumur, à Angers (Maine-et-Loire).

PONT, Professeur au Lycée Hoche, 17, villa de la Reine, à Versailles (Seine-et-Oise).

PONTIGGIA (Louis), Ingénieur, Directeur de l'Association des Industries d'Italie, Foro Bonaparte, 61, à Milan (Italie).

POPP (Victor), ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des Horloges pneumatiques, 21, place de la Madeleine, Paris, 8^e.

PORTER (Alfred-William), B. Sc., Fellow and Assistant Prof^r of Physics, University College, Gower St., Londres, W. C. (Angleterre).

PORTER (B.-Albert), Consultant and Importer, 1024 Lake Shore Drive, Evanston, Illinois (États-Unis).

POSTEL-VINAY, Ingénieur, 219, rue de Vaugirard, Paris, 15^e.

POTTS (Louis-Maxwell), Ph. D. (J. H. O.), Chief Engineer the Rowland Telegraphic Co., 107, E. Lombard St., Baltimore (États-Unis).

POURCEL, Professeur au Lycée de Montauban (Tarn-et-Garonne).

POUTEAUX, Constructeur, 115, rue de la Préfecture, à Dijon (Côte-d'Or).

POYNTING (John-Henry), Professor of Physics, The University, Birmingham (Angleterre).

POZZI-ESCOT (E.), Professor, Ingeniero-Quimico, Ministerio de Fomento, Lima, Pérou (Amérique du Sud).

PRADET (Antonin), Professeur à l'École de Sorèze (Ain).

PRÉAUBERT (E.), Professeur honoraire, 23, rue Proust, à Angers (Maine-et-Loire).

PRÉOBRAJENSKY (Pierre), Bolchaia Grousinskaia, 10 A, à Moscou (Russie).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres (Angleterre).

MM.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Petersbourg (Russie).

PRETORIANO (Marin), Professeur à l'École militaire de Craïova (Roumanie).

PRÉVOST (Baron Henri), 17, rue Alphonse-de-Neuville, Paris.

PRIEUR (Albert), Industriel, 76, boulevard Malesherbes, Paris, 8°.

PROUMEN (Henri), Ingénieur civil des Mines, Professeur à l'École supérieure des Textiles de Verviers et à l'École Industrielle de Bruxelles, 23, rue Donckier, à Verviers (Belgique).

PRYTZ (Peter-Kristian), Professeur de Physique à l'École Polytechnique, 18, Upsalagade, à Copenhague V. (Danemark).

PRZIBRAM (Karl), Dr Privat-docent de Physique à l'Université, Partering 18, à Vienne I (Autriche).

PUGCIANTI (Luigi), Professor al R. Istituto di Studi superiori. Pratici e di Perfezionamento, à Firenze (Italie).

PUPIN, Docteur en Médecine, 27, quai de la Tournelle, Paris, 5°.

PUYFONTAINE (Comte de), 38, avenue Friedland, Paris, 8°.

QUESNEVILLE (Dr), Directeur du *Moniteur scientifique*, 12, rue de Buci, Paris, 6°.

RADAKOVIC (Michael), Dr Professeur de Physique théorique à l'Université de Czernowitz (Autriche).

RAGOUGNOT (L.), Chargé de Cours au Lycée de Rodez (Aveyron).

RAMEAU (l'abbé), Prof de Physique à l'Institution S'-Cyr, à Nevers (Nièvre).

RANQUE (Paul), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion, Paris, 5°.

RAPS (Auguste), Professeur. Docteur ès sciences, Directeur de la maison Siemens Halske, Ulmen Alle, 14, Berlin W. (Allemagne).

RAU (Louis), Administrateur délégué de la Compagnie Continentale Edison, 7, rue Montchanin, Paris, 17°.

RAVEAU (Camillo), Physicien au Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers, 61, boulevard Sébastopol, Paris, 1°.

RAY (Jagadindu), Lecturer Physical Science Bengal National College, 166, Bowbazar street, à Calcutta (Indes anglaises).

RAYLEIGH (Lord), F. R. S., Professeur à l'Institution royale, Terling Place, à Witham, Essex (Angleterre).

RAYMOND (Eugène), Ingénieur principal de la Compagnie des Messageries maritimes, à la Ciotat (Bouches-du-Rhône).

REBOUL, Professeur au Lycée de Chartres (Eure-et-Loir).

RECHNIEWSKI (W.-C.), Ingénieur électricien, 1, avenue de l'Alma, Paris, 8°.

RÉGNARD (Dr P.), Membre de l'Académie de Médecine, Directeur de l'Institut agronomique, 73, boulevard Montparnasse, Paris, 7°.

REGNIER (Joseph), Constructeur d'instruments de Physique et de Chimie, 10, rue Victor-Cousin, Paris, 5°.

REICHENHEIM (O.), Freiwilliger Mitarbeiter bei der Physikalisch Technischen Reichsanstalt Kurfürstendamm, 26°, à Berlin W. (Allemagne).

MM.

REMY (Léon-Émile), Professeur au Lycée, 5, rue Émile-Sauvat, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

REMY-ROUX, Docteur en Médecine, 9, rue Sainte-Catherine, à Avignon (Vaucluse).

RENAULT (Albert), Chimiste, 13, rue Paul-Louis-Courier, Paris, 7^e.

REUFFLET, Professeur à l'École Turgot, 8, boulevard de la Bastille, Paris.

REVOY, Professeur au Lycée, 31, rue Gounod, à Nice (Alpes-Maritimes).

REY PAILHADE (J. de), Ingénieur civil des Mines, 18, rue Saint-Jacques, à Toulouse (Haute-Garonne).

REYEZ CALVO (Antonio), Licencié ès sciences physiques, Carranza II Dpd. 3^o dra, Madrid (Espagne).

RIBAN (Joseph), Professeur honoraire à la Faculté des Sciences et à l'École nationale des Beaux-Arts, 85, rue d'Assas, Paris, 6^e.

RIBIÈRE (Charles), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées (service des Phares), 1, rue Edmond-About, Paris, 16^e.

RICARD (D^r E.), Chirurgien de l'Hôpital, 6, impasse Voltaire, à Agen (Lot-et-Garonne).

RICHARD (Jules), Ingénieur-Constructeur, 25, rue Mélingue, Paris, 19^e.

RICHARD (Pierre-Joseph), Lieutenant du Génie, démissionnaire, actuaire de la *Prévoyance*, 9, rue Carpeaux, Paris, 18^e.

RICHARDS (Horace-Clark), Docteur Assistant Professor of Physics Randel Morgan Laboratory, University of Pennsylvania, Philadelphia (États-Unis).

RICHARDSON (Owen-Williams), Docteur ès sciences. Trinity College, Cambridge (Angleterre).

RICHET (Ch.), Professeur à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université, Paris, 7^e.

RICORDEAU (Maurice-Charles-Louis), Concessionnaire, Propriétaire du Secteur électrique, 20, boulevard Lenoir-Dufresne, à Alençon (Orne).

RIEFFEL (A.), à Agay, par Saint-Raphaël (Var).

RIGOLLOT (Henri), Chargé de Cours de Physique industrielle à l'Université, 43, chemin des Grandes-Terres, à Lyon (Saint-Just) (Rhône).

RISSER (M^{lle}), Professeur au Collège de jeunes filles, à Troyes (Aube).

RIVIÈRE (Charles), Professeur au Lycée Saint-Louis, 30, rue Gay-Lussac, Paris, 5^e.

RIVIÈRE, Docteur en Médecine, 25, rue des Mathurins. Paris, 9^e.

ROBERT (Alexandre-Charlemagne), Ingénieur civil E. C. P., 11, rue Andrieu, Paris, 8^e.

ROBERT (Charles-Marie), Professeur au Lycée Gambetta, 6, rue de l'Hôtel-de-Ville, à Cahors (Lot).

ROBERT-LACROIX, Élève à l'École Centrale, rue du Mans, à Conlie (Sarthe).

ROCHEFORT (Octave), Ingénieur des Arts et Manufactures, 46, boulevard Haussmann. Paris, 9^e.

RODALLEC, Professeur au Collège de Morlaix (Finistère).

MM.

- RODDE (Léon)**, 107, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).
RODOCANACHI (Emmanuel), 54, rue de Lisbonne, Paris, 8^e.
ROGER (Albert), rue Croix-de-Bussy, à Épernay (Marne).
ROGER (Ernest), Constructeur d'instruments de précision pour les Sciences et l'Industrie (ateliers Ducretet), 28, rue Saint-Sulpice, Paris, 6^e.
ROGOVSKY (Eugène), Professeur à l'Université de Kharkow (Russie).
ROGOW (Moissej), 56, rue Zacharjewskaja, Minsk (Gouv^t Russie).
ROHAN-CHABOT (Jehan de), 2, avenue de Villars, Paris, 7^e.
ROJDESTWENSKY (Dmitri), Laborant à l'Institut de Physique de l'Université de Saint-Petersbourg (Russie).
ROHMUND (Vicktor), Professeur de Chimie physique à l'Université allemande de Prague (Autriche).
ROLLAND (Étienne), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 45, rue de Boulainvilliers, Paris, 16^e.
ROLLET DE L'ISLE, Ingénieur hydrographe, 33, rue du Sommerard, Paris, 5^e.
ROMILLY (Paul Worms de), Inspecteur général des Mines, 7, rue Balzac, Paris, 8^e.
ROPIQUET, Pharmacien, rue Jules-Barni, à Amiens (Somme).
ROQUES (D^r C.), Aide de clinique électrothérapique à la Faculté de Médecine, 94, cours d'Alsace-Lorraine, à Bordeaux (Gironde).
ROSA (Edward-Bennett), Physicist Bureau of Standards, Bureau of Standards, Washington, D. C. (États-Unis).
ROSENSTIEHL, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, 171, route de Saint-Leu, à Enghien (Seine-et-Oise).
ROSING (Boris), Docent à l'Institut technologique, Jamkaja 32, Log 9, à Saint-Petersbourg (Russie).
ROSSET (Georges), Ingénieur des Arts et Manufactures, 4, rue Alboni, Paris, 16^e.
ROSSI (Paoli), Docteur en Physique, adjoint à l'Istituto fisico della Università di Napoli (Italie).
ROTHÉ (Edmond), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 21, rue Malzéville, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
ROTHMUND (Victor), Professeur de Chimie physique à l'Université allemande de Prague (Autriche).
ROTHSCHILD (baron Edmond de), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré, Paris, 8^e.
ROUBAULT, Professeur au Lycée Lakanal, 18, avenue du Petit-Chambord, à Bourg-la-Reine (Seine).
ROUBAULT, Professeur au Collège de Sedan (Ardennes).
ROUDET (L.), Professeur au Lycée de Nancy (Meurthe-et-Moselle).
ROUMAILLAG, Docteur en Médecine, à Captieux (Gironde).
ROUSSEAU, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles (Belgique).
ROUSSELET, Proviseur du Lycée de Saint-Étienne (Loire).

MM.

ROUSSELOT (l'abbé), Professeur à l'Institut catholique, 74, rue de Vaugirard, Paris, 6^e.

ROUTIN (Joseph-Louis), Ingénieur-Expert, ancien Élève de l'École Polytechnique, 6, rue Auguste-Comte, à Lyon (Rhône).

ROUX (Gaston), Ingénieur-Conseil, Directeur du Bureau de Contrôle des installations électriques, 12, rue Hippolyte-Lebas, Paris, 9^e.

ROY, Industriel, 21, rue Béranger, Paris.

ROY (Georges-Eugène), Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, 11 bis, rue René-Fleutelot, à Dijon (Côte-d'Or).

ROYCOURT (Eugène), Constructeur électricien, successeur de M. Bonetti, 69, avenue d'Orléans, Paris, 14^e.

ROZET (M^{lle} Thérèse), Professeur au Lycée de jeunes filles, 53, rue de Saint-Quentin, Le Havre (Seine-Inférieure).

ROZIER (F.), Docteur en Médecine, 12, rue de Buci, Paris, 6^e.

RUBENS (Dr Heinrich), Professeur à l'Université de Berlin (Allemagne).

RUSCH (Franz), Dr ès sciences, Ingénieur électricien, Sonneggstr, 57^m, à Zurich 10 (Suisse).

RUSSENBERGER, Dr ès sciences, 48, rue Mathurin-Regnier, Paris, 15^e.

RYKATCHEFF (Général), Directeur de l'Observatoire physique central Nicolas, Wassiliowski Ostrow, 33, ligne n° 2, à Saint-Petersbourg (Russie).

RYSELBERGHE (François van), Docteur ès sciences, Professeur à l'Athénée de Saint-Gilles-Bruxelles, 20, rue Henri-Wafelaerts, Saint-Gilles-Bruxelles (Belgique).

SACERDOTE (Paul), Dr ès sciences, Professeur au Collège Chaptal, 3, rue Danton, Paris, 6^e.

SACRED HEART COLLEGE, à Shembagamur, Madura-District (Indes anglaises).

SADOWSKY (Alexandre), Professeur de Physique à l'Université impériale, à Dorpat (Russie).

SAGNAC (Georges), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 12, rue Cuvier, Paris, 5^e.

SAÏD (D. Mehmed), Ingénieur attaché technique à l'ambassade de Turquie, 106, boulevard Arago, Paris, 14^e.

SAINDERICHIN, Ingénieur, 47, rue Alexandre III, à Dunkerque (Nord).

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Émile), Ingénieur à la Compagnie parisienne du Gaz, 73, rue Berthier, Paris, 17^e.

SAINT-CYR (Auguste), Professeur au Lycée, Beauvais (Oise).

SAINTIGNON (F. de), Maître de forges à Longwy (Meurthe-et-Moselle).

SAINT-JOHN (Charles-Edward), Professor of Physics, Oberlin College, 125, Elm St., Oberlin, Ohio (États-Unis).

SAIVRE (Maurice de), Ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité, 14, rue Sédillot, Paris, 7^e.

SALADIN (Édouard), Ingénieur civil des Mines, Ingénieur principal attaché à la Direction des Établissements Schneider et C^{ie}, 42, rue d'Anjou, Paris, 8^e.

MM.

- SALET (P.)**, Attaché à l'Observatoire de Paris, 120, boul. St-Germain, Paris, 6^e.
SALLES (Adolphe), 1, rue Rabelais, Paris, 8^e.
SALLES (Édouard), Licencié ès sciences physiques, Attaché au Laboratoire de Recherches physiques de la Sorbonne, 58, rue de Clichy, Paris, 9^e.
SALMON, Professeur au Lycée, 27, rue Louis-Laget, à Nîmes (Gard).
SALTYKOW (N.-N.), Professeur de Mécanique théorique à l'Université impériale, Mironocytzkaia ploschad, 16, à Charkow (Russie).
SALVAING (Félix), Professeur au Collège, 11, rue de Sorèze, à Revel (Haute-Garonne).
SALVIONI (Enrico), Professeur à l'Université, Institut de Physique de l'Université de Pavie (Italie).
SANDOZ (Albert), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 97, boulevard Arago, Paris, 14^e.
SANTAIS (l'abbé), Vicairo à Saint-Romain, 33, rue Bouquet, à Rouen (Seine-Inférieure).
SANTERRE, 23, quai d'Orsay, Paris, 7^e.
SAPHORES (Jean), Sous-Chef de Travaux pratiques à l'École de Physique et de Chimie, 28, avenue des Gobelins, Paris, 15^e.
SARASIN (E.), Docteur ès sciences, Grand Saconnex, à Genève (Suisse).
SARAZIN, Professeur à l'École des Arts et Métiers et à l'École de Médecine, 22, rue Paul-Bert, à Angers (Maine-et-Loire).
SARDING (Jean-Marie-Auguste), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Toulouse (Haute-Garonne).
SARRAN (E.), Professeur au Lycée, 40. cours Pasteur, à Bordeaux (Gironde).
SAUVAGE (E.), Postes et Télégraphes, au Cap Saint-Jacques (Cochinchine).
SAWTELLE (William-Otis), of Formaly Instructor in Physics Massachusetts Institute of Technology, 29, Ware st., Cambridge, Mass. (États-Unis).
SCARPA (Oscar), Docteur ès sciences physiques, Professore di Electrochimica nella R. Scuola Sup. Politecnica, e Professore di Chimica fisica nella R. Università R. di Napoli (Italie).
SCHAFFERS (R. P. Victor), S. J., Docteur ès sciences physiques et mathématiques, Professeur au Collège de la Compagnie de Jésus, 11, rue des Récollets, à Louvain (Belgique).
SCHEUER (Otto), Dr ès sciences à l'École de Chimie de Genève (Suisse).
SCHILLER (Nicolas), Professeur émérite, Membre du Conseil ministériel de l'Instruction publique, Aptekavsky pereouloque 6, à St-Petersbourg (Russie).
SCHLUMBERGER (Conrad), Ingénieur des Mines, Professeur à l'École des Mines, 7, rue Las-Cazes, Paris, 7^e.
SCHMID (Ch.), Mécanicien-Constructeur, à Bar-le-Duc (Meuse).
SCHMID (Walther), Licencié ès sciences mathématiques, Dr ès sciences physiques, 87, rue de la Côte, à Neuchâtel (Suisse).
SCHOOP (Max-Ulrich), Ingénieur électrochimiste, 130, rue Henri-Litolff, à Bois-Colombes (Seine).
SCHOTT (G.-Adolphe), Chargé de Cours à l'University College of Wales, à Aberystwyth (Angleterre).

MM.

- SCHULHOF** (M^{lle}), Professeur au Lycée de jeunes filles de Poitiers (Vienne).
SCHURR, Docteur ès sciences, Professeur au Lycée, 60, rue Pont-de-Garonne, à Agen (Lot-et-Garonne).
SCHUSTER (M^{lle}), Professeur au Collège de jeunes filles de Périgueux (Dordogne).
SCHWEILDER (Egon Ritter von), Dr Phil., Professeur à l'Université, Turkenstrasse, 3, Vienne IX (Autriche).
SCHWEITZER (Alfred), Dr Ph. Professeur honoraire à l'École Polytechnique, Wilfridstrub, à Zurich (Suisse).
SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, Directeur de la Maison Breguet, 15, rue Bizet, Paris, 16^e.
SCOBELZINE (Wladimir), Professeur au Polytechnicum, Sosnowka, à Saint-Petersbourg (Russie).
SEBERT (le Général), Membre de l'Institut, 14, rue Brémontier, Paris, 17^e.
SECRETAN (G.), Ingénieur opticien, 13, place du Pont-Neuf, Paris, 1^{re}.
SEDZIAK (François), Ingén^r électricien, Directeur de Dours Draft Boiler and Machine Co, 23^d Corner of Papin street, à Saint-Louis, Missouri (États-Unis).
SEE (Thomas-Jefferson-Jackson), A. M. Ph. D. Bexol, Professor Mathematics U. S. Navy, Naval Observatory, Mare Island, California (États-Unis).
SÉE (Alexandre), ancien Élève de l'École Polytechnique, 62, rue Brûle-Maison, à Lille (Nord).
SEIGNIER (Pierre), Professeur au Collège de Meaux (Seine-et-Marne).
SELBY (Arthur-L.), Professor of Physics, University College of South Wales, 3, Palace Road, Llandaff, Cardiff (Angleterre).
SELIGMANN-LUI, Insp^r général des Télégraphes, 78, rue Mozart, Paris, 16^e.
SELIGMANN (Max), Professeur de Physique à l'Athénée Royal, 61, rue de la Culture, à Bruxelles (Belgique).
SENATORE (Vincenzo), Professor di Fisica al R. Liceo, Potenza (Italie).
SENTIS, Professeur au Lycée, 17, boulevard de Bonne, à Grenoble (Isère).
SERRÉ-GUINO, Examineur honoraire à l'École de Saint-Cyr, 114, rue du Bac, Paris, 7^e.
SERRES (Adalbert), Professeur au Lycée, 31, rue de la Franchise, à Bordeaux (Gironde).
SHORTER (Lewis-R.), B. Sc. de l'Université de Londres, 55, Campden Hill Road, Kensington, London W. (Angleterre).
SICAULT (Paul), Ingénieur, 5, avenue Léonie, à Saint-Cloud (Seine).
SIEGLER, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de la voie des Chemins de fer de l'Est, 48, rue Saint-Lazare, Paris, 9^e.
SIEGLER (Jean), Ing^r au corps des Mines, 1, rue Jean-Bologne, Paris, 17^e.
SIERTSEMA (L.-Hendrik), Dr Professeur de Physique à la « Technische Hoogeschool », Onde Delft, 36, à Delft (Hollande).
SIGALAS (Dr C.), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 67, rue de la Teste, à Bordeaux (Gironde).
SIMON (L.-J.), Sous-Directeur du Laboratoire de Chimie à l'École Normale supérieure, 15, rue Vauquelin, Paris, 5^e.

MM.

SIMONIN, Professeur au Lycée d'Évreux (Eure).

SIRVENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 73, rue de Rennes, Paris, 6^e.

SISSINGH (R.), Docteur, Professeur à l'Université, Oosterpark, 79, à Amsterdam (Hollande).

SKOTTOWE (A.-B.), Directeur de l'Eastern Extension Telegraph C^o, à Hong-Kong (Chine).

SMAGGHE (Joseph-Louis), Professeur de Physique à l'Institution du Sacré-Cœur, à Tourcoing (Nord).

SMITH (Reginald-Thomas), Ba. Wh. Sc. Head of Mathematical Department, Woolwich Polytechnic, Woolwich (Angleterre).

SMOLUCHOWSKI DE SMOLAN (le Chevalier **M.**), Docteur ès sciences, Prof^r à l'Université Leopole, Dlugosza, 8, Lemberg (Autriche).

SOCIEDAD DE INGENIEROS, Apatao Corres, n^o 981, à Lima (Pérou).

SOCIETA D'INCORAGGIAMENTO D'ARTI E MESTIERI, 18, via S. Marta, Milan (Italie).

SOISSON (Guillaume), Prof^r de Physique à l'École industrielle et commerciale, 1, rue de l'Athénée, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

SOKOLOW (Alexis), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

SOLVAY (Ernest), Industriel, 43, rue des Champs-Élysées, à Bruxelles (Belgique).

SORBIER (J.), Professeur au Collège de Bône (Algérie).

SORET (Adrien), Professeur au Lycée, 11, rue Edmond-Morin, au Havre (Seine-Inférieure).

SOYER (Auguste), Agrégé, Professeur au Lycée de Tournon (Ardèche).

SPARRE (le Comte **Magnus-Louis-Marie de**), Doyen de la Faculté catholique des Sciences, 7, avenue de l'Archevêché, à Lyon (Rhône).

SPRING (W. V.), Membre de l'Académie Royale, Professeur à l'Université, 38, rue Beckmann, à Liège (Belgique).

STACKELBERG (baron **Édouard de**), Reval Dom Ritterhaus (Russie).

STANOÏVITCH, Professeur à l'Université de Belgrade (Serbie).

STAPPER (Daniel), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

STCHEGLAYEFF, Assistant au Laboratoire de Physique de l'Institut Polytechnique, Institut Polytechnique Lesnoï, à Saint-Petersbourg (Russie).

STEARNS (Herman-D.), Professor of Physics, 1121 Bryant, St. Palo Alto, California (États-Unis).

STEFANELLI (Pietro), D^r Professeur au Lycée Galatina (Italie).

STEPANOFF (A.), ancien Professeur de Physique, Lesnoï, Kropotkinskaïa, n^o 4, à Saint-Petersbourg (Russie).

STEVENS (James-Stacy), M. S., Professor of Physics of Maine Dean filter College of Arts and Sciences, Orono, Maine (États-Unis).

STIASSNIE (Maurice), Opticien, 204, boulevard Raspail, Paris, 14^e.

STREET (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, 3, rue Legendre, Paris, 17^e.

STROHL (Jean), Ingénieur des Arts et Manufactures, Le Cateau (Nord).

MM.

STROUHAL (Vincent), Docteur Ph., Professeur à l'Université de Bohême, Conseiller à la Cour, Clementinum, Institut de Physique, Prague (Bohême).

STSCHEGLAYEF (Woldemar), Professeur de Physique à la Haute-École technique de Moscou (Russie).

STUTZ (Émile-Henri), Lieutenant de vaisseau, 57, rue Picot, à Toulon (Var).

SULZER (E.-C.), Docteur en Médecine, 22, rue de Tocqueville, Paris, 17^e.

SWINTON (Alan-A.-Campbell), Ingénieur, 66, Victoria Street Westminster, Londres (Angleterre).

SUZOR (Georges-W.), Ingénieur, 80, Settlement, à Yokohama (Japon).

SWYNGEDAUF (R.), Professeur de Physique et d'Électricité industrielle à la Faculté des Sciences, 1, rue des Fleurs, à Lille (Nord).

SYRMEN (Louis-Pierre), Professeur au Collège de Sarlat (Dordogne).

SZARVADY, Ingénieur des Arts et Manufactures, Répétiteur à l'École Centrale, 4, rue Théodule-Ribot, Paris.

SZARVASSI (Arthur), Dr Privat docent et adjoint Deutsche Technische Hochschule, à Brünn (Autriche).

TAILLEFER (André), ancien Élève de l'École Polytechnique, 215, boulevard Saint-Germain, Paris, 7^e.

TALLQVIST (Axel-Henrich-Hjalmar), Professeur de Physique à l'Université, Parkgatan, 7. B., à Helsingfors (Finlande).

TAMARU (Takurô), Professeur adjoint à l'Université, Collège des Sciences, Université de Tôkyô (Japon).

TANGL (Charles), Professeur à l'Université, Monostori ut 72. à Kolozvar (Hongrie).

TARRADE, Attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

TEISSERENC DE BORT (Léon), Directeur de l'Observatoire de Météorologie dynamique, 33, rue Dumont-d'Urville, Paris, 16^e.

TEISSIER, Professeur à l'École Colbert, 16, boul. de Clichy, Paris, 18^e.

TÉLÉGRAPHIE MILITAIRE (Dépôt central de la), 51, boulevard de La Tour-Maubourg, Paris, 7^e.

TEPLOFF (N.), Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir-Kaies, 15, Maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

TERADA (Torahiko), Professeur au Collège des Sciences, à Tokio (Japon).

TERMIER, Membre de l'Institut, Professeur à l'École nationale des Mines, 164, rue de Vaugirard, Paris, 15^e.

TERRIER, Professeur au Lycée, 38, rue du Bel-Air, à Laval (Mayenne).

THÉLIER (Marcel), 9, avenue de Messine, Paris, 8^e.

THIESEN (Dr Max), Professeur Physikalischen Technische Reichsanstalt, Charlottenburg-Berlin (Allemagne).

THOMAS, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger (Algérie).

THOMPSON (Silvanus-P.), Professeur à Finsbury Technical College, Morland, Chislett Road, West Hampstead, Londres N.-W. (Angleterre).

MM.

THOMSON (J.-J.), D. Sc., L. L. D., F. R. S. Fellow of Trinity college Cambridge, Cavendish professor of experimental Physics Cambridge and Professor of natural Philosophy at the Royal Institution, London. Holmleigh, West Road, Cambridge (Angleterre).

THOUVENEL (N.), Professeur au Lycée Charlemagne, 19, boulevard Morland, Paris, 4^e.

THOVERT, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Grenoble, chemin Saint-Jean, à la Tronche (Isère).

THURNEYSSSEN (J.), ancien Élève de l'École Polytechnique, successeur de la maison Alvergniat-Chabaud, 58, rue Monsieur-le-Prince, Paris, 6^e.

TIAN, Préparateur de Physique industrielle à la Faculté des Sciences, 26, rue Saint-Savournin, Marseille (Bouches-du-Rhône).

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

TISSIER, Professeur au Lycée Voltaire, 1, rue Mirbel, Paris, 5^e.

TISSOT (G.), Lieutenant de vaisseau, Professeur de Physique à l'École Navale, à Brest (Finistère).

TOMBECK, Docteur ès sciences, 23, avenue de Versailles, à Choisy-le-Roi (Seine).

TOMMASINA (Thomas), Docteur ès sciences, Membre de l'Institut national et de la Société de Physique de Genève, Villa Mon-Érmitage sur Champal, près Genève (Suisse).

TONARELLI, Proviseur du Lycée de Chambéry (Savoie).

TONTA (Cav. Dottor Italo), Medico Chirurgo Piazza Duomo Portici Settent^a 25 1^o Nobile Milano (Italie).

TORCHEBEUF (Ch.), Ingénieur, 97, boulevard Exelmans, Paris, 10^e.

TOTCHIDLOWSKY (Ignace), Assistant de Physique à l'Université d'Odessa (Russie).

TOUANNE (G. de la), Ingénieur des Télégraphes, 80, rue Bonaparte, Paris, 6^e.

TOUDOROWSKY (Alexandre), à l'Institut Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

TOUPOT (J.-E.), Curé de Robert-Espagne (Meuse).

TOUREN (Charles), Prof^r au Collège Rollin, 56, rue Gay-Lussac, Paris, 5^e.

TOURRIOL (Jean), Professeur au Lycée, 19, boulevard Gambetta, à Grenoble (Isère).

TRABAREL, Professeur de Physique au Collège de Perpignan (Pyrénées-Orientales).

TRIPPIER (Dr A.), 8, rue de Castellanc, Paris, 8^e.

TRIPPIER, Ingénieur électricien, 17, rue Alphonse-de-Neuville, Paris, 17^e.

TRIPPE (Paul), Professeur au Lycée d'Alger (Algérie).

TROOST, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 84, rue Bonaparte, Paris, 6^e.

TSAKALOTOS (Dométrius), Dr Phil., Professeur agrégé de Chimie à l'Université, place de la Liberté, 10 A, à Athènes (Grèce).

MM.

TSCHERNING (Dr **Marins**), Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie à la Faculté des Sciences, 15, rue de Mézières, Paris, 6^e.

TSCHILAEFF (**André**), Assistant à l'Institut technologique, Sergienskaia 81, 19, à Saint-Petersbourg (Russie).

TULEU (**Charles**), Ingénieur, 58, rue d'Hauteville, Paris, 10^e.

TURPAIN (**Albert**), Professeur à la Faculté des Sciences, 95, rue de la Tranchée, à Poitiers (Vienne).

UCHARD (**A.**), Chef d'escadron d'Artillerie, 33, rue Voltaire, à Brest (Finistère).

UHLER (**H.-S.**), Yale Station, New Haven Conn. (États-Unis).

ULLMANN (**M^{lle}**), Professeur au Lycée de jeunes filles, 10, rue des Écoles, Chambéry (Savoie).

ULLMANN (**Jacques**), Constructeur électricien, 16, boulevard Saint-Denis, Paris, 10^e.

UNIVERSITÉ DE SYDNEY, Nouvelle-Galles du Sud (Australie).

VAGNIEZ (**Édouard**), 14, rue Lemer cier, à Amiens (Somme).

VAILLANT (**Pierre**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Grenoble (Isère).

VALBREUZE (**Robert de**), ancien Officier du Génie, Ingénieur électricien, Secrétaire de la rédaction de l'*Éclairage électrique*, Administrateur délégué de la Société de Construction de véhicules automobiles, 8, rue de Lévis, Paris, 17^e.

VAN DE VYVER-GRAU (**L.-N.**), Dr ès sciences, Professeur à l'Université, 63, boulevard de la Citadelle, à Gand (Belgique).

VARENNE (**de**), 7, rue de Médicis, Paris, 6^e.

VARIN (l'abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

VARRET (**René**), Ingénieur-électricien, Constructeur de machines électriques, 39, rue Rivay, à Levallois-Perret (Seine).

VASSEUR (**Alfred**), villa Les Primevères, à Beau-Soleil (Alpes-Maritimes).

VAUGEOIS (**Jean-Georges**), Ingénieur électricien, Fabricant d'accumulateurs, 20, rue du Congrès, à Asnières (Seine).

VAUTIER (**Théodore**), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon (Rhône).

VAYSSIÈRES (**Louis**), Professeur au Lycée, 35, boulevard Jeu de Paume, à Montpellier (Hérault).

VEILLON (**Henri**), Docteur en Philosophie, Professeur à l'Université, 27, rue Euler, à Bâle (Suisse).

VELTER (**Pierre-Jules-Edmond**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 44, avenue du Maine, Paris, 15^e.

VENOT (**M^{lle} Anne-Marie-Marguerite**), Professeur agrégée des Sciences au Lycée de jeunes filles, 52, rue Molière, à Lyon (Rhône).

MM.

- VENTURINO VENTURINI**, D^r Ph. Assistente all' Istituto fisico R. Università, Napoli (Italie).
- VERNIER (Camille)**, Professeur de Physique au Collège de Beaume-les-Dames (Doubs).
- VERNIER (Victor)**, Professeur au Lycée, 44, rue Berlier, à Dijon (Côte-d'Or).
- VERNIER**, Maître Répétiteur au Lycée Louis-le-Grand, 123, rue Saint-Jacques, Paris, 5^e.
- VERSCHAFFELT (M^{me})**, 4, avenue de la Floride, à Uccle (Belgique).
- VERSCHAFFELT (Jules-Émile)**, Professeur à l'Université de Bruxelles, 4, avenue de la Floride, à Uccle (Belgique).
- VICENTINI (Giuseppe)**, Professeur de Physique à l'Université de Padoue (Italie).
- VIDAL (Gaston)**, Professeur au Collège, 33, avenue Denfert-Rochereau, à Auxerre (Yonne).
- VIÉ (Frédéric)**, Ingénieur, ancien Élève de l'École Polytechnique, à la distillerie Delanne, à Seclin (Nord).
- VIEILLE**, Membre de l'Institut, Directeur des Poudres et Salpêtres, 12, quai Henri IV, Paris, 4^e.
- VIGNON (Léo)**, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université, Institut de Chimie, rue de Béarn, à Lyon (Rhône).
- VIGOUROUX (D^r R.)**, 53, avenue Trudaine, Paris, 9^e.
- VIGUIER (Paul-Louis)**, Professeur au Lycée, Villa des Lilas, Croix-du-Prince, à Pau (Basses-Pyrénées).
- VILLARD (P.)**, Membre de l'Institut, 45, rue d'Ulm, Paris, 5^e.
- VILLET (Paul)**, Directeur des Tabacs, à la Manufacture des Tabacs, à Riom (Puy-de-Dôme).
- VILLIERS (Antoine)**, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 31, rue d'Alésia, Paris, 14^e.
- VINCENT**, Professeur au Lycée Saint-Louis, 26, rue de Staël, Paris, 15^e.
- VINCENT (l'abbé)**, Professeur à l'Institution Saint-François-de-Sales, à Alençon (Orne).
- VINYCOMB (Thomas-Bernard)**, M. A. Lecturer in Physics, Woolwich Polytechnic, à Woolwich (Angleterre).
- VIOLET (Léon)**, 6, rue de l'Abbaye, Paris, 6^e.
- VIOLLE**, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 89, boulevard Saint-Michel, Paris, 5^e.
- VITTRANT**, Professeur de Physique au Collège Notre-Dame-de-Bon-Secours, à Highlands (Jersey).
- VLÈS (F.)**, Préparateur à la Faculté des Sciences, 15, rue de Cluny, Paris, 5^e.
- VOIGT (Woldemar)**, Professeur à l'Université de Göttingen (Allemagne).
- VOISENAT (Jules)**, Ingénieur en chef des Télégraphes, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- VOLTERRA (Vito)**, Professeur de Physique mathématique à l'Université, via in Lucina, 17, à Rome (Italie).

MM.

VOUILLEMIN. Capitaine d'Artillerie, 155, boulevard de la Reine, à Versailles (Seine-et-Oise).

VOUILLET (M^{lle}), Professeur au Lycée de jeunes filles de Lons-le-Saunier (Jura).

VOUILLET (Eugène), Professeur à l'École normale de Grenoble (Isère).

WAALS (VAN DER), Professeur à l'Université d'Amsterdam (Hollande).

WACHSMUTH (Richard), Prof. Dr Physikalisches Institut der Physikalischer Vereins, à Franckfurt-a.-Main (Allemagne).

WAHA (de), ancien Professeur de Physique, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WAIDNER (Chas.-W.), Phil. Dr Associate Physic. Bureau of Standards, Washington D. C. (États-Unis).

WALCKENAER (Charles), Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 218, boulevard Saint-Germain, Paris, 7^e.

WALLON (Étienne), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 65, rue de Prony. Paris, 17^e.

WATERMAN (Frank-Allan), Professor of Physics, Smith College, Physical Laboratory, Northampton, Massachusetts (États-Unis).

WATTEVILLE (C. de), Dr ès sciences, 96, avenue Henri-Martin, Paris, 16^e.

WEIL (Albert), Docteur, 21, rue d'Édimbourg, Paris, 8^e.

WEINBERG (Boris), Privat-docent de Physique à l'Université, Pessotschnaia 10, Saint-Petersbourg (Russie).

WEISS (Dr Georges), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Membre de l'Académie de Médecine, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin, Paris, 16^e.

WEISS (Pierre), Professeur à l'École Polytechnique de Zurich (Suisse).

WEISSMANN (Gustave), Ingénieur des Constructions civiles E.C.P., 47, rue de Boulainvilliers, Paris, 16^e.

WENGLER (Michel), Docteur ès sciences, Professeur de Physique au Gymnase, à Echternach (Grand-Duché de Luxembourg).

WERLEIN (Ivan), Constructeur d'instruments d'Optique, 17, rue de Tournon, Paris, 6^e.

WERTHEIM SALOMONSON (I.-K.-A.), Professeur de Neuropathologie et d'Électrothérapie à l'Université, 43, Vonaelstraat, à Amsterdam (Hollande).

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère, Paris, 17^e.

WHEATLEY (William), B. A. The Grammade School, Preston (Angleterre).

WHITEHEAD (John-B.), Ph. Dr John Hopkins University, Baltimore, Maryland (États-Unis).

WIEDEMANN (Eilhard), Professeur de Physique, à Erlangen (Allemagne).

WILLIAMS. Libraire, 14, Henrietta Street, Covent Garden, Londres W. C. (Angleterre).

WILLOT (A.), Licencié ès sciences, Institut catholique d'Arts et Métiers, 6, rue Auber, à Lille (Nord).

MM.

WIND (G.-H.), Docteur Professeur de Mathématiques et de Mécanique théorique à l'Université d'Utrecht (Hollande).

WITROWSKI (Auguste), Professeur de Physique, Laboratoire de Physique de l'Université de Cracovie (Autriche).

WITZ (Aimé), Ingénieur civil, Professeur aux Facultés catholiques, 29, rue d'Antin, à Lille (Nord).

WOLCOTT (Edson-Ray), General manager, Care of the Rankin Chemical Reduction Co, 623-108, La Salle Street St., Chicago, Ill. (États-Unis).

WOLF (Charles), Membre de l'Institut, Astronome honoraire de l'Observatoire, Prof. honoraire à la Faculté des Sciences, à Braine-sur-Vesle (Aisne).

WOLFF (Dr Edmond), Professeur à l'École de Médecine, 52, rue Bernard-Palissy, à Tours (Indre-et-Loire).

WOULFF (Georges), Professeur de Minéralogie à l'Université de Varsovie (Russie).

WROCZYMSKI, 1, rond-point de Painpalais, à Genève (Suisse).

WUILLEUMIER (H.), Docteur ès sciences, Ingénieur, 46, rue Lepic, Paris, 18°.

WULF (Th.), Professeur de Physique, Collège St-Ignace, Valkenburg, Limbourg (Hollande).

WYROUBOFF (G.), Professeur au Collège de France, 20, rue Lacépède, Paris, 5°.

YESARES BLANCO (Ricardo), Ingénieur électricien, Almansa, 16, Hôtel, à Madrid (Espagne).

YOUNES (René), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur adjoint à l'Ingénieur en chef, Chemin de fer du Yunnan, par Laokay (Tonkin).

YVON (P.), Membre de l'Académie de Médecine, 26, avenue de l'Observatoire, Paris, 14°.

ZALACOSTAS (Pierre-N.), Directeur du Laboratoire de Chimie au Ministère des Finances, 15, rue d'Adrien, à Athènes (Grèce).

ZALCE (Ramon-N.), Photographe, 2, calle de Jazminez, 15, apartado postal n° 75, Morelia (Mexique).

ZAREMBA (Stanislas), Professeur à l'Université et Correspondant de l'Académie des Sciences de Cracovie, rue Biskupia, 5, à Cracovie (Autriche).

ZEEMAN, Professeur à l'Université, 158, Stadhoudersstrase, à Amsterdam (Hollande).

ZEGERS (Louis-L.), Ingénieur des Mines du Chili, 1262, Augustinas, à Santiago (Chili).

ZEMPLÉN (Gyözo), Docteur ès sciences, Professeur agrégé à l'Université, VIII Esterhazy utca 3, à Budapest (Hongrie).

ZERVOS (Paniotis), Docteur ès sciences mathématiques de l'Université d'Athènes, Professeur de Mathématiques, 62, rue d'Académie, à Athènes (Grèce).

MM.

ZETTER (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Compagnie française d'appareillage électrique, 16, rue Montgolfier, Paris, 3^e.

ZIKENDRAHT (Dr Hans), Assistant à l'Institut de Physique, 31, Birmamgasse, à Bâle (Suisse).

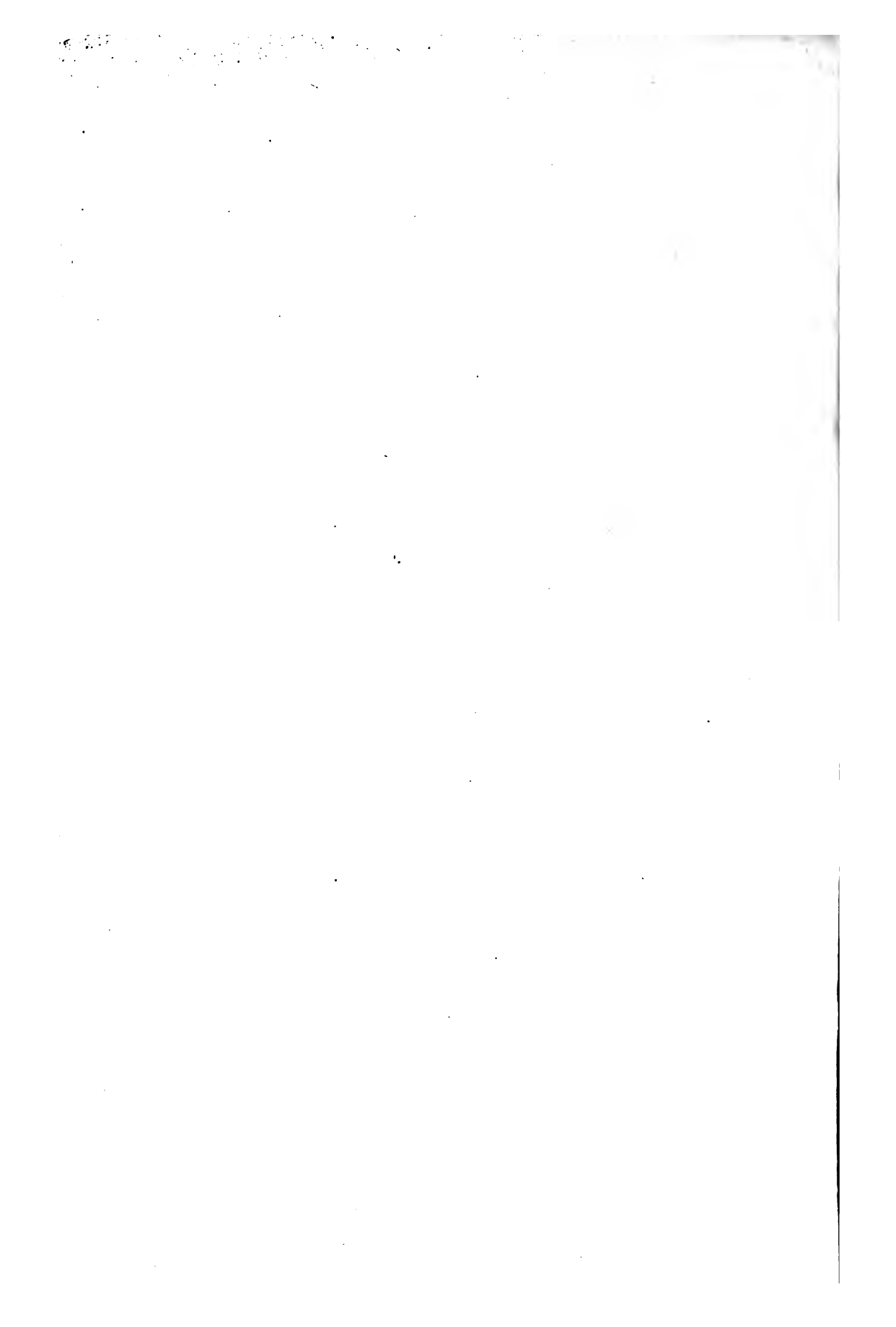
ZILOFF (Pierre), Professeur de Physique à l'Université, 9, rue Nicolas, à Kieff (Russie).

ZIMMERN (A.), Dr, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 19, rue Bassano, Paris, 16^e.

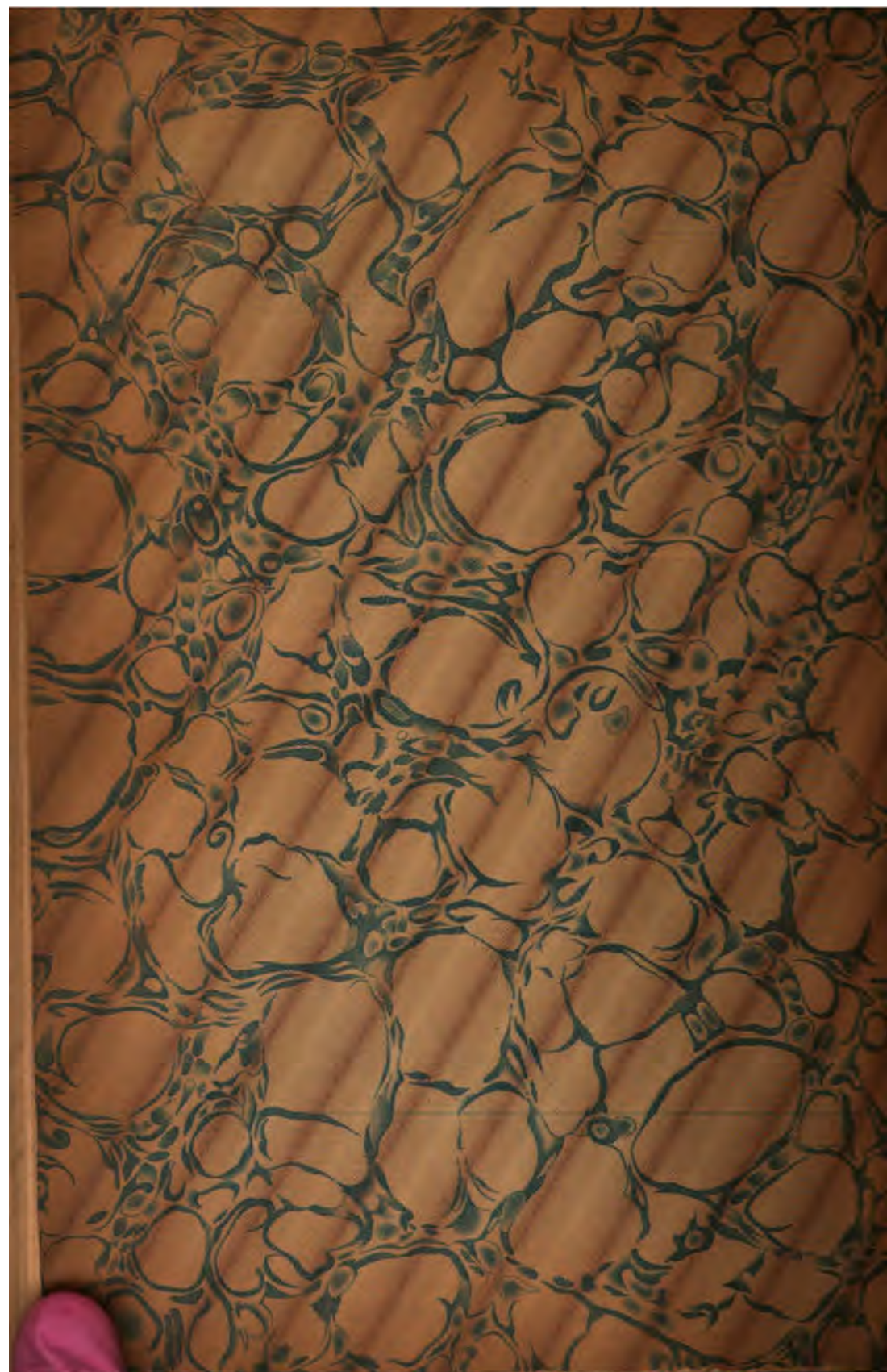
ZIVY (Louis), Professeur au Lycée de Douai (Nord).

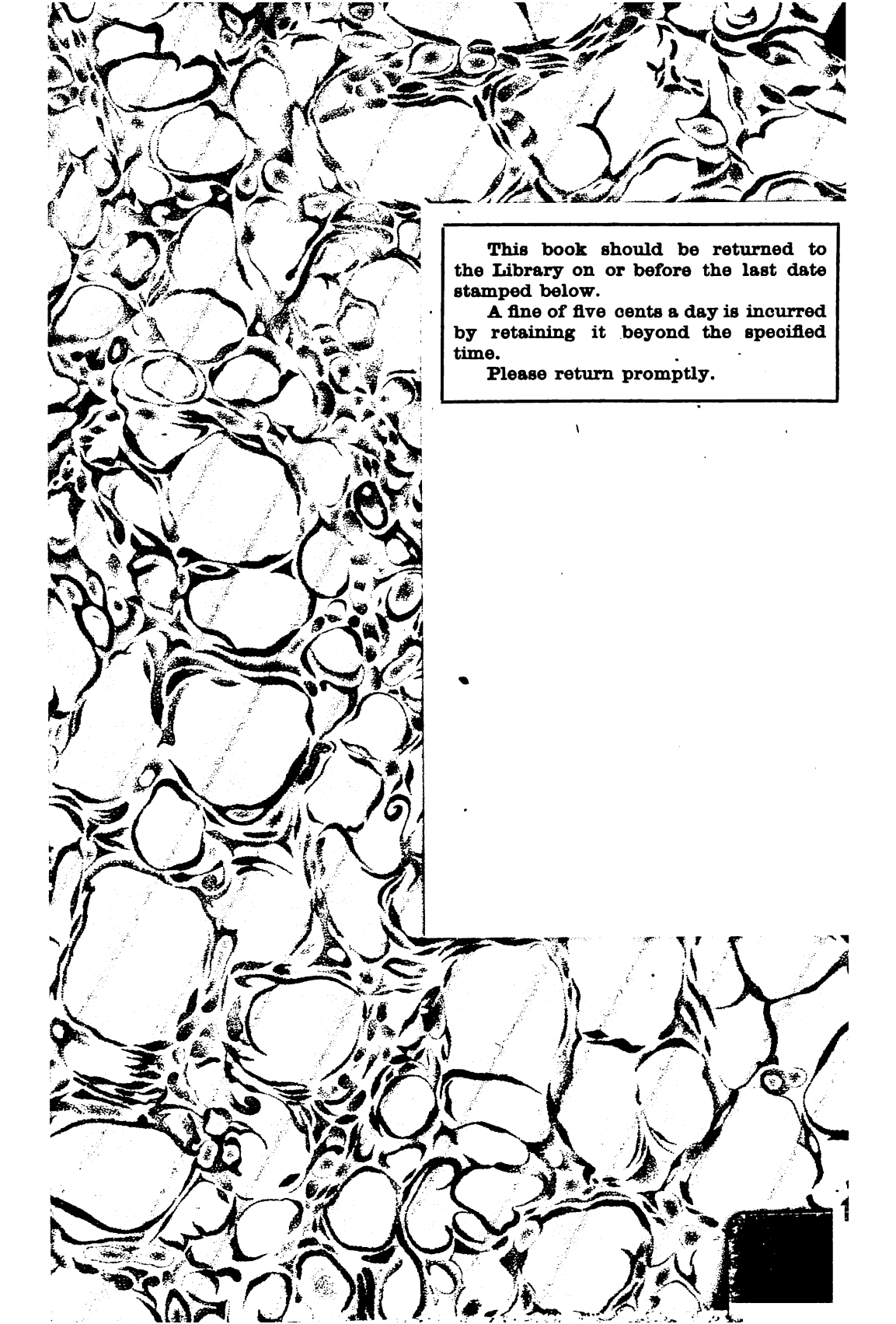
Janvier 1909.

Prière d'adresser les rectifications et changements d'adresse à M. A. Sandoz, agent général de la Société, 97, boulevard Arago (14^e).









**This book should be returned to
the Library on or before the last date
stamped below.**

**A fine of five cents a day is incurred
by retaining it beyond the specified
time.**

Please return promptly.